ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

UO‘K 622.279.5:622.276.6 https://doi.org/10.70769/218-4732.ITJ.2026-3.08

GAZKONDENSAT KONLARINI ISHLASHNING YAKUNIY BOSQICHIDA QUDUQLARNI ISHLATISH BO‘YICHA KOMPLEKS YECHIMLAR

Axatova Guliza Anvar qizi[1], doktorant (PhD), E-mail: ahadovaguliza@gmail.com,
ORCID: 0009-0002-7458-6668, Science ID: FQD-0926-0126
Xayitov Laziz Komilovich[1], doktorant (PhD), E-mail: hayitovlaziz62@gmail.com,
ORCID: 0009-0008-6927-3636, Science ID: FQD-1026-0023
Samatov Sherzod Shavkatovich[2], katta o‘qituvchi, E-mail: samatov@kstu.uz,
ORCID: 0009-0007-2995-6478, Science ID: MQD-0626-0094
Jo‘rayeva Yulduz Shamil qizi[1], magistr, E-mail: yulduzshamilovna2305@mail.ru,
ORCID: 0009-0000-2058-3272, Science ID: MQD-0926-0356

[1]Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
[2]Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Maqolada karbonat kollektorli gaz va gazkondensat konlarini ishlashning so‘nggi bosqichida gaz quduqlarining barqaror ishlashini ta’minlashga qaratilgan texnologik va texnik yechimlar kompleks tarzda tadqiq qilingan. Qatlam bosimining pasayishi, quduq tubida qatlam suvi va kondensatning to‘planishi, gaz tezligining kritik qiymatdan pastga tushishi, quduq atrofi zonasining shikastlanishi, tabiiy yoriqlilik va yuqori filtratsion nobirjinslilikning o‘zaro bog‘liq ta’siri tahlil etilgan.*

Tadqiqot usuli sifatida ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish, suyuqlik yuklanishini Turner–Kolmen tipidagi kritik tezlik mezonlari bilan baholash, tugunli tahlil tamoyillari, texnologik variantlarni ko‘p mezonli saralash hamda karbonat jinslari uchun selektiv kislotali ishlov shartlarini integratsiyalash qo‘llanildi. Hisobiy ssenariylar quvur ichki diametrining kamayishi kritik gaz debitini sezilarli pasaytirishini va shu orqali past debitli quduqlarning suyuqlikni olib chiqish qobiliyatini tiklash mumkinligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: *gaz qudug‘i, so‘nggi bosqich, suyuqlik yuklanishi, kritik gaz tezligi, karbonat kollektor, quduq atrofi zonasi, skin-faktor, ko‘pik hosil qiluvchi SFM, kompressiya, kislotali ishlov, tugunli tahlil.*

УДК 622.279.5:622.276.6

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ахатова Гулиза Анвар кизи[1], докторант (PhD)
Хайитов Лазиз Комилович[1], докторант (PhD)
Саматов Шерзод Шавкатович[2], старший преподаватель
Жураева Юлдуз Шамиль кизи[1], магистр

[1]Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан
[2]Университет экономики и педагогики, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье комплексно исследованы технологические и технические решения, направленные на обеспечение устойчивой эксплуатации газовых скважин на поздней стадии разработки газовых и газоконденсатных месторождений с карбонатными коллекторами. Проанализировано взаимосвязанное влияние снижения пластового давления, накопления пластовой воды и конденсата на забое скважины, уменьшения скорости газа ниже критического значения, повреждения призабойной зоны пласта, естественной трещиноватости и высокой фильтрационной неоднородности.*

В качестве методов исследования использованы системный анализ научной литературы, оценка жидкостной нагрузки по критериям критической скорости типа Turner–Kolmen, принципы узлового анализа, многокритериальный отбор технологических

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

вариантов, а также интеграция условий селективной кислотной стимуляции карбонатных пород. Расчётные сценарии показали, что уменьшение внутреннего диаметра насосно-компрессорных труб существенно снижает критический дебит газа и тем самым позволяет восстановить способность низкодебитных скважин к выносу жидкости.

Ключевые слова: *газовая скважина, поздняя стадия разработки, жидкостная нагрузка, критическая скорость газа, карбонатный коллектор, призабойная зона пласта, скин-фактор, пенообразующее ПАВ, компримирование, кислотная обработка, узловой анализ.*

UDC 622.279.5:622.276.6

INTEGRATED SOLUTIONS FOR WELL OPERATION AT THE FINAL STAGE OF GAS-CONDENSATE FIELD DEVELOPMENT

Guliza Axatova[1], PhD doctoral student,
Laziz Khayitov[1], Doctoral Student (PhD),
Sherzod Samatov[2], Senior Lecturer,
Yulduz Jurayeva[1], Master's Graduate

[1]Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan
[2]University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This study comprehensively investigates technological and technical solutions aimed at ensuring the stable operation of gas wells during the late stage of development of gas and gas-condensate fields with carbonate reservoirs. The interrelated effects of reservoir pressure depletion, accumulation of formation water and condensate at the well bottom, reduction of gas velocity below the critical value, near-wellbore formation damage, natural fracturing, and high filtration heterogeneity are analyzed.*

The research methodology includes a systematic review of scientific literature, assessment of liquid loading using Turner–Kolmen-type critical velocity criteria, nodal analysis principles, multi-criteria screening of technological options, and integration of selective acid stimulation conditions for carbonate formations. The calculated scenarios demonstrate that reducing the internal diameter of the tubing significantly decreases the critical gas flow rate, thereby restoring the liquid-lifting capability of low-rate wells.

Keywords: *gas well, late stage of development, liquid loading, critical gas velocity, carbonate reservoir, near-wellbore zone, skin factor, foaming surfactant, compression, acidizing, nodal analysis.*

Kirish

Gaz va gazkondensat konlarini ishlashning so‘nggi bosqichida quduqlar fondining texnik-iqtisodiy samaradorligini saqlab qolish dastlabki bosqichga nisbatan murakkabroq masalaga aylanadi. Qatlam energiyasining kamayishi natijasida quduq tubi va usti bosimlari pasayadi, gazning lift quvurlaridagi tezligi susayadi, bir vaqtning o‘zida qatlam suvi, kondensat va ba’zan texnologik suyuqliklar quduq tubida to‘planishga moyil bo‘ladi. Suyuqlik ustunining gidrostatik qarshi bosimi gaz oqimini yanada pasaytiradi va musbat teskari aloqa hosil qiladi: gaz debiti kamaygan sari suyuqlikni olib chiqish qobiliyati yomonlashadi, suyuqlik ko‘paygan sari qatlamga beriladigan depressiya qisqaradi.

Karbonat kollektorli konlarda masala yanada murakkablashadi. Ohaktosh va dolomitlarda g‘ovaklik tizimi ko‘pincha tabiiy yoriqlar, kavernalar, yuqori o‘tkazuvchan kanallar va nisbatan zich matritsaning birgalikdagi strukturasidan iborat. Bunday muhitda quduq atrofi zonasining ifloslanishi yoki cho‘kindi bilan kolmatatsiyasi kichik radiusda katta qo‘shimcha bosim yo‘qotishini yuzaga keltirishi mumkin. Aksincha, nazoratsiz kislotali ishlov mavjud yoriqlar bo‘ylab tez “qochib ketib”, kam o‘tkazuvchan bloklarni yetarli qamramasligi yoki suvli interval bilan gidravlik aloqani kuchaytirishi mumkin. Fredd va Fogler karbonatlarda kislota oqimi hamda reaksiya tezligining nisbatiga bog‘liq ravishda yuzaki eritilish, konussimon kanallar yoki samarali chuvalchangsimon

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

kanalchalar hosil bo‘lishini ko‘rsatgan [1-8]. Zamonaviy yondashuvlarda esa kislota turi, konsentratsiyasi, sarfi, divertorlar va geologik nobirjinslilik birgalikda tanlanadi [9-16].

O‘zbekiston sharoitida ham so‘nggi bosqichdagi gaz quduqlarida suvlanish va past qatlam bosimi muammosi amaliy ahamiyatga ega. Xalismatov, Zakirov va Shomurodov Shimoliy Berdax koni misolida suv chiqarib ishlayotgan quduqlar fondi va kam unumli quduqlarda sirt faol moddalar qo‘llash natijalarini tahlil qilgan. Mahalliy tadqiqotlarda karbonat kollektorlarning quduq atrofi zonasiga kislotali ishlov berishni modellashtirish, geologik tuzilishni hisobga olish va termobarik sharoitlarda reagentlarni tanlash yo‘nalishlari rivojlanmoqda [13–15].

So‘nggi bosqichdagi konlarda quduqni “ko‘proq ochish” yoki “ko‘proq kislota haydash” har doim ham to‘g‘ri yechim emas. Agar asosiy cheklov quduq ichidagi suyuqlik ustuni bo‘lsa, qatlam o‘tkazuvchanligini oshirish qisqa muddatli debit o‘sishini berishi mumkin, biroq suyuqlikni tashish mexanizmi hal etilmasa quduq yana yuklanadi. Agar asosiy cheklov yig‘ish tizimidagi yuqori bosim bo‘lsa, quduq tubiga kimyoviy ta’sir ko‘rsatishdan ko‘ra kompressiya yoki separator bosimini kamaytirish samaraliroq bo‘lishi mumkin. Aksincha, gaz tezligi yetarli, lekin skin-faktor katta bo‘lgan karbonat quduqda kichik diametrli lift quvuri o‘rnatish oqim kesimini qisqartirib, ortiqcha ishqalanish yo‘qotishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun texnologiyani tanlash “sabab–belgi–yechim” mantiqida amalga oshirilishi kerak.

Mazkur ishning maqsadi – karbonat kollektorli gaz konlarini ishlashning so‘nggi bosqichida quduqlarni ishlatish texnologiyasi va texnikasini takomillashtirish uchun suyuqlik yuklanishi, quduq atrofi zonasining filtratsion qarshiligi, lift tizimi va yer usti qarshi bosimini yagona diagnostik platformada birlashtiradigan ilmiy-amaliy yondashuvni ishlab chiqish. Maqsadga erishish uchun: 1) suyuqlik yuklanishi mexanizmlari va kritik debit modellari tahlil qilinadi; 2) quvur diametri va bosimning kritik debitga ta’siri hisobiy ssenariyda baholanadi; 3) texnologik usullarni tanlash matritsasi tuziladi; 4) karbonat kollektorda kislotali ishlovning qaysi holatda zarurligi va qaysi holatda ikkilamchi ekanligi asoslanadi; 5) so‘nggi bosqich qudug‘i uchun integrallashgan optimallashtirish algoritmi taklif qilinadi (1-jadval).

1-jadval. So‘nggi bosqichdagi gaz quduqlarining asosiy cheklovlari va diagnostik belgilari

Cheklov	Asosiy belgi	Noto‘g‘ri talqin xavfi
Suyuqlik yuklanishi	Tiqinli oqim, bosim tebranishi, debitning davriy tushishi	Har qanday debit pasayishini skin-faktor deb qabul qilish
Yuqori yer usti qarshi bosimi	Separator/yig‘ish tizimi bosimi oshganda debit keskin kamayadi	Qatlam energiyasi yetarli emas deb baholash
Quduq atrofi shikastlanishi	Bosim yo‘qotishning qatlamdan quduqqa oqim qismida ortishi	Suyuqlik yuklanishiga kislota bilan javob berish
Suv oqimi/kanallanish	Suyuqlik/gaz va suv/gaz nisbatining o‘sishi, suv ustunining ortishi	Faqat ko‘pik bilan uzoq muddat boshqarish
Kondensat banki	Shudring nuqtasidan pastda quduq atrofi zonasi harakatchanligining pasayishi	Faqat lift quvuri muammosi deb qabul qilish
Texnik yaxlitlik	Quvur orti bo‘shlig‘i bosimi, sizib chiqish, korroziya	Debittagi pasayishni qatlamga bog‘lash

Materiallar va uslublar

Tadqiqot ilmiy-analitik va hisobiy xarakterga ega. Materiallar sifatida gaz quduqlarida suyuqlik yuklanishi bo‘yicha klassik va zamonaviy ishlar, O‘zbekiston gaz konlarida suvlangan quduqlarni ishlatish bo‘yicha ochiq nashrlar, so‘nggi bosqichdagi gazkondensat konlarida ta’mirlash va intensifikatsiya tadbirlarini yorituvchi maqola [12], shuningdek karbonat kollektorlarni kislotali ishlov bilan stimulyatsiya qilishga oid mahalliy va xalqaro manbalar [13–16] qabul qilindi. Tadqiqotda maxfiy yoki tasdiqlanmagan kon ma’lumotlaridan foydalanilmadi. Raqamli natijalar

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

alohida ko‘rsatilgan hisobiy ssenariylarga tegishli bo‘lib, ularning vazifasi texnologik tendensiyalarni ko‘rsatishdan iborat.

Usul to‘rt bosqichdan tashkil topdi. Birinchi bosqichda kritik gaz tezligi tushunchasi va suyuqlik yuklanishining barqaror oqimdan tiqinli va kuchli aralashgan oqimga o‘tishi haqidagi adabiyotlar solishtirildi. Ikkinchi bosqichda Turner tipidagi kritik tezlik tenglamasi yordamida quvur ichki diametri va oqim bosimining kritik gaz debitiga ta’siri hisoblandi. Uchinchi bosqichda suyuqlikni chiqarish, kompressiya, lift quvurini qayta tanlash, plunjerli lift/gazlift, kimyoviy ko‘piklantirish, suv oqimini cheklash va karbonatga kislotali ishlov berish usullari texnik moslik bo‘yicha saralandi. To‘rtinchi bosqichda diagnostika natijasiga qarab usullarni ketma-ket yoki kombinatsiyada qo‘llash algoritmi shakllantirildi.

Kritik tezlikni baholash uchun Turner modelining 20 % tuzatishli, SI birliklariga keltirilgan ko‘rinishi ishlatildi [1, 9]. Quduq og‘zi yoki hisob nuqtasidagi gaz va suyuqlikning xossalari ma’lum bo‘lganda kritik tezlik quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$v_{krit} = 6{,}584\,\frac{\sigma^{1/4}(\rho_L-\rho_g)^{1/4}}{\rho_g^{1/2}},$$

bu yerda v_{krit} – suyuqlik tomchilarini ko‘tarib chiqish uchun zarur kritik gaz tezligi; σ – gaz–suyuqlik chegarasidagi sirt tarangligi; ρ_L va ρ_g – mos ravishda suyuqlik va gaz zichligi. Ushbu SI ko‘rinishida kritik tezlik m/s, sirt tarangligi N/m, suyuqlik va gaz zichliklari kg/m³ birliklarda olinadi. Kolmen va hammualliflar past bosimli quduqlar uchun 20 % tuzatishsiz ko‘rinish ayrim sharoitlarda yaxshiroq mos kelishini ko‘rsatgan [2]. Shu sababli real loyiha uchun bir nechta model natijasini quduqning haqiqiy tiqinli oqim boshlanish nuqtasi bilan kalibrlash tavsiya etiladi.

Gaz zichligi hisobiy ssenariyda real gaz tenglamasining soddalashtirilgan SI birliklaridagi ifodasi orqali baholandi:

$$\rho_g = \frac{3484.3\,\gamma_g P}{zT}.$$

Kritik gaz sarfi esa oqim kesimi va gazning holat koeffitsiyentlarini hisobga olib quyidagicha aniqlanadi [9]:

$$q_{krit} = \frac{2.466\times10^{8}\,P\,v_{krit}\,A}{Tz},$$

bu yerda P – mutlaq oqim bosimi (MPa), T – mutlaq temperatura (K), z – gazning siqiluvchanlik koeffitsiyenti, A – lift quvurining ichki kesim yuzasi (m²). Hisobiy ssenariy uchun γg = 0,65, T = 322 K, z = 0,90, suyuqlik zichligi 961 kg/m³ va sirt tarangligi 0,060 N/m qabul qilindi. Mazkur ko‘rinishda kritik gaz sarfi m³/sut, kritik tezlik esa m/s birliklarda olinadi. Quduq yoki kon loyihasida ushbu qiymatlar PVT va ishlab chiqarish ma’lumotlari bilan almashtirilishi shart.

Suyuqlik yuklanishi xavfini tezkor baholash uchun ushbu ishda o‘lchovsiz yuklanish koeffitsiyenti taklif etiladi:

$$\Lambda_q = \frac{q_g}{q_{krit}}.$$

$\Lambda_q > 1{,}2$ holat barqaror olib chiqish zaxirasi mavjud bo‘lgan zona, $0{,}8 \le \Lambda_q \le 1{,}2$ o‘tish yoki beqaror zona, $\Lambda_q < 0{,}8$ esa yuqori yuklanish xavfi sifatida dastlabki saralash maqsadida qabul qilindi. Ushbu chegaralar universal fizik qonun emas; ular operatsion signal sifatida ishlatiladi va konkret quduqning bosim tebranishlari, akustik usulda aniqlangan suyuqlik sathi, gradient va ishlab chiqarish tarixi bilan tekshirilishi lozim.

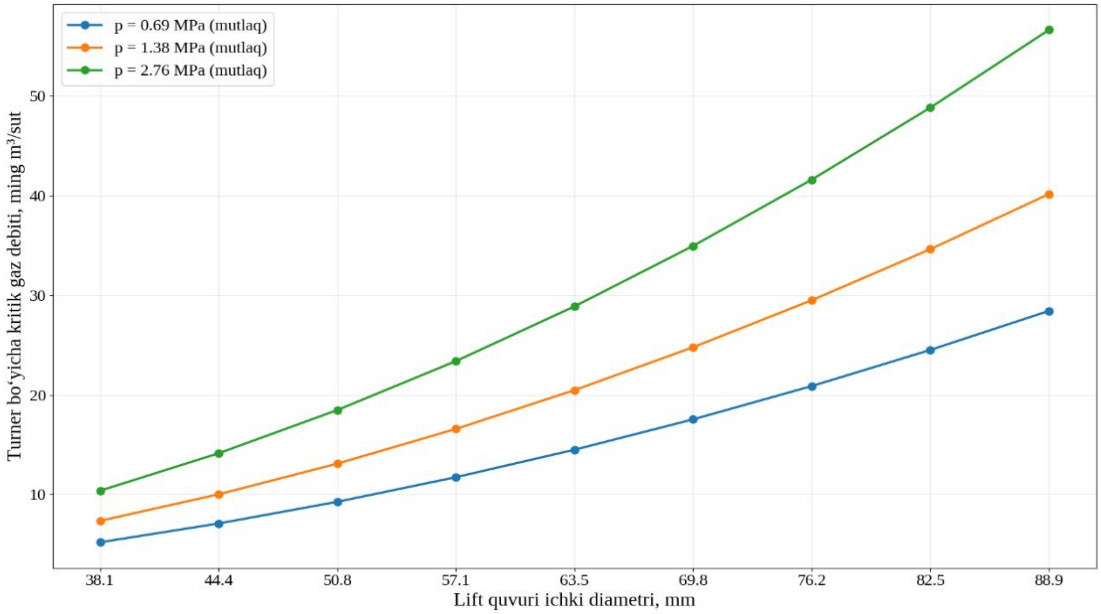
Qatlamdan quduqqa oqimni baholashda gaz quduqlarining mahsuldorlik bog‘lanishi va tugunli tahlil prinsipi qo‘llanadi. Soddalashtirilgan ko‘rinishda gaz oqimi $q_g = C\left(p_r^2 - p_{wf}^2\right)^n$ kabi ifodalanishi mumkin, ammo yuqori bosim va real gaz uchun psevdobosim funksiyasi afzal. Muhim jihat shundaki, quduqning ish nuqtasi faqat qatlamdan quduqqa oqim (IPR) bilan emas, balki lift quvuri, drossel, yig‘ish quvuri va separator bosimini qamrab olgan quduq bo‘ylab ko‘tarilish oqimi

(VLP) bilan birgalikda aniqlanadi. Lift quvuri diametrini kamaytirish kritik tezlikni pasaytiradi, lekin yuqori tezliklarda ishqalanish yo‘qotishini oshiradi; shuning uchun kichik diametrli lift quvuri faqat yangi IPR–VLP kesishuv nuqtasi barqaror va iqtisodiy bo‘lsa tanlanadi.

Natijalar

1. Suyuqlik yuklanishining texnologik chegarasi. Hisobiy ssenariy natijalari lift quvuri ichki diametri kritik gaz debitiga kvadratik yaqin bog‘liqlik bilan ta’sir qilishini ko‘rsatadi, chunki kritik tezlik berilgan termobarik sharoitda nisbatan sekin o‘zgaradi, oqim kesimi esa diametr kvadratiga proporsional. Masalan, 1,38 MPa (mutlaq) bosimda ichki diametri 38,1 mm bo‘lgan quvur uchun hisoblangan kritik debit taxminan 7,36 ming m³/sut bo‘lsa, 88.9 mm diametrda 40,12 ming m³/sutga yetadi. Bu bir xil gaz qudug‘ida katta diametrli lift quvuri yakuniy bosqichda suyuqlikni uzluksiz olib chiqish nuqtai nazaridan noqulay bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Bosimning ta’siri bir yo‘nalishli emas: bosim oshganda gaz zichligi ortib, kritik tezlik pasayadi, ammo standart sharoitga keltirilgan kritik sarf formuladagi P ko‘paytuvchisi sabab o‘sishi mumkin. Shu bois faqat v_{krit} ni solishtirish yetarli emas; operator kritik tezlik bilan birga standart debitni, quvur kesimini va real quduqning ishlab chiqarish nuqtasini ko‘rishi kerak. Quyidagi rasmda 0,69, 1,38 va 2,76 MPa (mutlaq) uchun hisoblangan egri chiziqlar keltirilgan.



Rasm. Quvur diametri va oqim bosimining kritik gaz debitiga ta’siri (Turner modeli asosida).

Kritik debitga yaqinlashgan quduqda ishlab chiqarish belgilarining ketma-ketligi odatda quyidagicha: quduq og‘zi bosimi va debiti tebranishi kuchayadi; suyuqlik tiqinlari separatorga davriy keladi; quduq tubi bosimi oshib, mavjud depressiya kamayadi; keyin uzoqroq yopilish–ochilish sikllari yoki o‘z-o‘zidan so‘nish holati yuz beradi. Biroq qiya quduqlar, ko‘p fazali kondensat oqimi va yuqori suyuqlik nisbati uchun Turner modeli yuklanishni kechroq yoki ertaroq prognoz qilishi mumkin [5, 7–9]. Shuning uchun Λ_q koeffitsiyenti diagnostik signal, yakka qaror mezoni emas.

2. Suyuqlikni chiqarish usullarini tanlash natijalari. Adabiyotlar tahlili va tugunli tahlil mantiqi asosida so‘nggi bosqich quduqlari uchun texnologiyalarni bir xil darajada qo‘llashdan ko‘ra, ularni yuklanish intensivligi, mavjud energiya va suyuqlik manbasiga qarab bosqichma-bosqich tanlash maqsadga muvofiq. Eng kam kapital talab qiladigan kimyoviy ko‘piklantirish va davriy sirt faol modda qo‘llash ko‘pincha erta yoki o‘rta suyuqlik yuklanishida samarali. Shimoliy Berdax bo‘yicha nashrda ham ayrim kam unumli quduqlarda qattiq SFMdan so‘ng ishchi debitda ijobiy o‘zgarish qayd etilgan, biroq qatlam bosimi juda past bo‘lgan ayrim quduqlarda samara kuzatilmagan [11]. Bu natija muhim prinsipni tasdiqlaydi: ko‘pik suyuqlikning effektiv zichligi va ko‘tarilish sharoitini yaxshilaydi, lekin yo‘qolgan qatlam energiyasini yaratmaydi.

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

Plunjerli lift va davriy gazlift suyuqlik tiqinini mexanik yoki gaz energiyasi yordamida davriy olib chiqish uchun qo‘llanadi. Plunjerli lift uchun quduqda bosimning yopilish vaqtida qayta tiklanishi va plunjerni ko‘tarishga yetarli energiya bo‘lishi talab etiladi. Gazlift tashqi yuqori bosimli gaz manbaini, kompressor va armaturani talab qiladi, lekin suv debiti ko‘proq bo‘lgan quduqlarda kimyoviy usullarga nisbatan barqarorroq bo‘lishi mumkin. Juda yuqori suyuqlik oqimida mexanik nasos yoki elektr markazdan qochma nasos masalasi ko‘rib chiqiladi, ammo gaz qudug‘idagi yuqori gaz ulushi nasosning ishlashini murakkablashtiradi.

3. Karbonat kollektorlarida quduq atrofi zonasini boshqarish. Karbonat quduqlarda mahsuldorlikning pasayishi faqat qatlam bosimining tabiiy kamayishi bilan izohlanmasligi mumkin. Burg‘ilash va ta’mir suyuqligi filtrati, mexanik zarrachalar, suv–tuz cho‘kindilari, temir birikmalari va kondensat yaqin zonadagi samarali o‘tkazuvchanlikni kamaytirishi mumkin. Mahalliy modellashtirish ishlarida Matonat va G‘arbiy Kruk misolida kislotaning reaksiyasi, filtratsiya tezligi va Damköhler soni geologik tuzilish bilan bog‘liq holda tahlil qilingan [13]. Samatov va Mahmudov geologik struktura hamda gidrodinamik sharoitni ochiq hisobga olgan holda kislota konsentratsiyasi va haydash tezligini optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi [14].

Karbonat mineralining kislota bilan asosiy reaksiyasi ohaktosh uchun $CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$ ko‘rinishida ifodalanadi. Reaksiya juda tez bo‘lsa, kislota quduqqa yaqin zonada sarflanib, chuqur penetratsiya kamayadi; oqim juda tez yoki yoriqlar juda o‘tkazuvchan bo‘lsa, kislota preferensial kanallardan ketib, matriksaning katta qismi qamralmasligi mumkin. Fredd va Foglerning transport–reaksiya tadqiqotlari optimal oqim sharoitida chuvalchangsimon kanalchalar hosil bo‘lishi kislota hajmidan samaraliroq foydalanish imkonini berishini asoslaydi [16].

So‘nggi bosqichdagi gaz qudug‘ida kislotali ishlovning alohida xavfi – past qatlam bosimi sababli ishlovdan keyingi suyuqlikni quduqdan chiqarishning qiyinlashishidir. Yuqori bosimli quduqda qatlam energiyasi reaksiyaga kirishgan kislota va reaksiya mahsulotlarini tez qaytarishi mumkin, lekin past bosimda quduq o‘zlashtirish va tozalash davrida suyuqlik bilan yuklanib qolishi ehtimoli ortadi. Shu sababli kislotali ishlov loyihasi suyuqlikni chiqarish loyihasidan ajratilmasligi lozim: egiluvchan quvur (koltyubing) orqali joylashtirish, azot bilan energiyalangan yoki ko‘piklangan tizimlar, kichik bosqichlar, yakuniy yuvish va vaqtinchalik kompressiya/gazlift kabi yordamchi choralar birgalikda ko‘rib chiqiladi. Ermatov va hammualliflarning o‘ta past qatlam bosimli gaz quduqlari uchun kimyoviy ishlov texnologiyasiga oid 2026-yilgi ishi ham bu yo‘nalishning dolzarbligini tasdiqlaydi [15].

Yoriqli karbonatda suv oqimi masalasi alohida ahamiyatga ega. Agar yuqori o‘tkazuvchan yoriq suvli qatlam yoki suv konusi bilan bog‘langan bo‘lsa, oddiy HCl ishlovi aynan shu yo‘lni yanada kuchaytirishi mumkin. Shuning uchun kislota ishlovidan oldin mahsuldorlik karotaji (PLT), indikator usuli, harorat va shovqin karotaji yoki kamida ishlab chiqarish tarixidan suv manbasini aniqlash zarur. Suv manbai alohida intervalda bo‘lsa, izolyatsiya va selektiv kislota; matriks bo‘ylab umumiy suvlanish bo‘lsa, kislotali ishlovdan kutiladigan qo‘shimcha gaz va qo‘shimcha suvning iqtisodiy nisbatini hisoblash kerak.

4. Integrallashgan hisob. Integrallashgan yondashuvning ishlashini ko‘rsatish uchun shartli gaz qudug‘i ko‘rib chiqildi. Boshlang‘ich holatda lift quvuri ichki diametri 76,2 mm, quduq usti oqim bosimi 1,38 MPa (mutlaq), gaz debiti 16,99 ming m³/sut deb olinsin. 2-jadval bo‘yicha ushbu diametr va bosimda $q_{krit} \approx 29{,}48$ ming m³/sut, demak $\Lambda_q = 16{,}99/29{,}48 \approx 0{,}58$. Bu yuqori suyuqlik yuklanishi xavfiga mos keladi. Agar quduq sinovi ma’lumotlari musbat skin-faktor ham mavjudligini ko‘rsatsa, faqat kislotali ishlov bajarish debitni vaqtincha oshirishi mumkin, lekin quduq yana q_{krit} dan pastga tushishi ehtimoli katta.

Birinchi variant sifatida ichki diametri 38.1 mm bo‘lgan kichik diametrli lift quvuri tanlansa, 1,38 MPa (mutlaq) sharoitida q_{krit} taxminan 7,36 ming m³/sutga tushadi. Dastlabki 16,99 ming m³/sut debitning o‘zi uchun $\Lambda_q \approx 2{,}31$ bo‘ladi, ya’ni nazariy jihatdan suyuqlikni tashish zaxirasi hosil bo‘ladi. Ammo lift quvuri diametri kichrayishi sabab ishqalanish yo‘qotishi debitni, masalan, 14,16 ming m³/sutgacha kamaytirsa ham $\Lambda_q \approx 1{,}92$ bo‘lib qoladi. Shu ssenariy kichik diametrli lift quvurini mantiqan kuchli variant qiladi. Real quduqda bu xulosa VLP hisobisiz qabul qilinmaydi.

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

2-jadval. Turner modeli bo‘yicha kritik gaz debiti

Lift quvuri ichki diametri, mm	q_{krit}, 0,69 MPa, ming m³/sut	q_{krit}, 1,38 MPa, ming m³/sut	q_{krit}, 2,76 MPa, ming m³/sut
38,1	5,21	7,36	10,39
50,8	9,29	13,11	18,46
63,5	14,50	20,47	28,85
76,2	20,87	29,48	41,57
88,9	28,40	40,12	56,58

Izoh: qiymatlar konning haqiqiy o‘lchovlari emas; texnologik tendensiyani ko‘rsatish uchun qabul qilingan hisobiy ssenariy. γg=0,65, T=322 K, z=0,90, ρL=961 kg/m³, σ=0,060 N/m.

Ikkinchi bosqichda quduq sinovi musbat skin-faktor va karbonat PZP shikastlanishini tasdiqlasa, kichik diametrli lift quvuri o‘rnatilgandan yoki vaqtinchalik suyuqlikni chiqarish yo‘lga qo‘yilgandan keyin selektiv kislota ishlovi bajarilishi mumkin. Faraz qilaylik, jadallashtirishdan so‘ng qatlamdan quduqqa oqim yaxshilanib, gaz debiti 21,24 ming m³/sutga chiqdi. 38,1 mm li lift quvurida $\Lambda_q \approx 2{,}88$ bo‘ladi. Bu holda kislota bilan olingan qo‘shimcha mahsulot suyuqlikni olib chiqish rejimini buzmaydi. Agar aksincha 76,2 mm li lift quvuri saqlanganida $\Lambda_q \approx 0{,}72$ bo‘lib, hatto debit o‘sgan bo‘lsa ham quduq kritik chegaradan past qolishi mumkin edi. Shu misol “qatlamdan quduqqa oqimni jadallashtirish + ko‘tarish tizimini optimallashtirish”ni birgalikda ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi (3-jadval).

Uchinchi bosqichda yig‘ish tizimi bosimi oshib ketadigan davrlar yoki mavsumiy cheklovlar bo‘lsa, kompressiya qo‘shilishi mumkin. Kompressiya quduq usti bosimini pasaytirib, IPR–VLP kesishuvini o‘zgartiradi va suyuqlik yuklanishiga qarshi qo‘shimcha zaxira yaratadi. Natijada kichik diametrli lift quvuri, selektiv jadallashtirish va kompressiya bir-birining o‘rnini bosuvchi emas, balki konkret cheklovlar ketma-ketligini bartaraf qiluvchi vositalar sifatida ishlaydi.

3-jadval. Integrallashgan hisobiy ssenariyning asosiy ko‘rsatkichlari

Holat	Lift quvuri ichki diametri, mm	q_g, ming m³/sut	q_{krit}, ming m³/sut	Λq	Talqin
Boshlang‘ich	76,2	16,99	29,48	0,58	Yuqori yuklanish xavfi
Kichik diametrli lift quvuridan keyin	38,1	14,16	7,36	1,92	Barqaror tashish zaxirasi
Jadallashtirishdan keyin	38,1	21,24	7,36	2,88	Qatlam oqimi va ko‘tarish tizimi uyg‘un
Faqat jadallashtirish, katta diametrli lift quvuri	76,2	21,24	29,48	0,72	Yuklanish xavfi saqlanadi

Muhokama

Olingan natijalar gaz quduqlarini so‘nggi bosqichda ishlatish muammosini “bitta usul – bitta natija” tamoyili bilan hal qilish imkoniyati cheklanganligini ko‘rsatadi. Turner modeli yarim asrdan ortiq vaqt davomida amaliy dastlabki saralash vositasi sifatida qo‘llanayotgan bo‘lsa-da, keyingi ishlar yuklanishning suyuqlik plyonkasining teskari oqishi, oqim rejimi, quduq qiyaligi va dinamik IPR–VLP aloqasi bilan boshqarilishini ko‘rsatdi [3–9]. Shuning uchun kritik debitdan foydalanganda xavfsizlik koeffitsiyentini avtomatik qo‘shishdan ko‘ra, quduqning real ishlab chiqarish tarixida tiqinli oqim boshlanadigan nuqtani aniqlash va modelni shu nuqtaga moslashtirish ishonchliroq.

Lift quvuri diametrini kichraytirishning kuchli ta’siri hisobiy natijalarda yaqqol ko‘rindi. Bu kichik diametrli lift quvurining yakuniy bosqich uchun ilmiy asosini tushuntiradi: maqsad quduqni “siqib qo‘yish” emas, balki gazning yuzaki tezligini ko‘tarib, suyuqlik plyonkasi/tomchilarini ko‘tarishga yetarli impuls berishdir. Biroq diametrni haddan tashqari kichraytirish yuqori debit davrida ishqalanish gradiyentini ko‘paytiradi va kelajakdagi quduqni ta’mirlash ishlarini murakkablashtiradi. Shuningdek, parafin mavjud bo‘lmasa-da, tuz cho‘kindilari va korroziya mahsulotlari kichik quvurda kesimni tezroq qisqartirishi mumkin. Shu sababli kichik diametrli lift

quvuri loyihasida hozirgi debit emas, prognoz qilinayotgan debit diapazoni, minimal quduq usti bosimi va suyuqlik miqdori hisobga olinadi.

Kimyoviy ko‘piklantiruvchi reagentlarning kuchli tomoni – mavjud quduq konstruksiyasini o‘zgartirmasdan suyuqlikni mayda dispers/ko‘pikli fazaga aylantirib, ko‘tarish uchun zarur gaz tezligini kamaytirishidir. Shimoliy Berdax bo‘yicha kuzatilgan ijobiy va salbiy natijalarning bir kon doirasida mavjudligi texnologiya uchun “energiya chegarasi” borligini ko‘rsatadi [11]. Qatlam bosimi va gaz debiti juda past bo‘lsa, sirt faol modda suyuqlikning tashilishini yengillashtiradi, ammo statik suyuqlik ustunini yengib chiqish uchun yetarli energiya bo‘lmasa, barqaror qazib olish tiklanmaydi. Bunday quduqlarda kompressiya, davriy ishlatish, plunjerli lift/gazlift yoki suyuqlikni alohida chiqarish texnologiyasi kerak bo‘lishi mumkin.

Karbonat kollektorning farqlovchi xususiyati – quduq atrofi zonasini jadallashtirish uchun yuqori potensial va bir vaqtning o‘zida yuqori geologik xavfdir. Agar shikastlangan zona asosiy bosim yo‘qotishni bersa, kislotali ishlov kichik radiusdagi o‘tkazuvchanlikni keskin yaxshilab, quduq mahsuldorligini oshirishi mumkin [13, 14, 16]. Lekin so‘nggi bosqichda qo‘shimcha qatlam oqimi ko‘pincha ko‘proq kondensat va suv olib keladi. Demak, kislota ishlovi natijasini faqat boshlang‘ich gaz debitining foiz o‘sishi bilan baholash yetarli emas; 30, 90 va 180 kunlik barqarorlik, suyuqlik nisbati, Λ_q zaxirasi va qayta yuklanish tezligi ham asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari bo‘lishi kerak.

Samatov va hammualliflarning kichik zaxirali gazkondensat konlari bo‘yicha 2026-yilgi ishida quduq ta’miri, suvni cheklash va intensifikatsiya choralarining kon ishlash muddatini uzaytirishdagi roli ko‘rsatib o‘tilgan [12]. Ushbu maqoladagi yondashuv buni quduq darajasidagi qaror algoritmi bilan to‘ldiradi: birinchi navbatda dominant cheklov aniqlanadi, keyin eng kam murakkab va qaytariladigan tadbir tanlanadi, shundan so‘ng zarur bo‘lsa quduq ichki jihozlari yoki qatlamga ta’sir bosqichiga o‘tiladi. Bunday ketma-ketlik keraksiz kislota ishlovlari, asossiz lift quvurini almashtirish yoki iqtisodiy samarasiz kompressor quvvatini kamaytirishga xizmat qiladi.

Karbonatga kislota haydashda chuvalchangsimon kanalchalar konsepsiyasi ayniqsa muhim. Fredd va Fogler ishidan kelib chiqadigan asosiy texnologik xulosa shuki, maksimal kislota sarfi yoki maksimal konsentratsiya avtomatik ravishda maksimal penetratsiya bermaydi [16]. Transport tezligi va reaksiya kinetikasi optimal nisbatda bo‘lishi kerak. So‘nggi bosqichda qatlam bosimi pastligi sabab kislotaning qaytib chiqishi ham dizaynning bir qismiga aylanadi. Shuning uchun kislota turi, inhibitori, divertori, haydash tezligi va yakuniy yuvish bilan birga quduqni o‘zlashtirish rejimi – azot, gazlift, egiluvchan quvur (koltyubing) yoki kompressiya – oldindan rejalashtirilishi zarur [15, 17, 18].

Tadqiqotning yana bir natijasi – “suyuqlik yuklanishi” va “suvlanish” tushunchalarini ajratish zarurati. Suvlanish qatlamdan kelayotgan suv miqdorining ortishi bo‘lib, manbasi geologik yoki texnik bo‘lishi mumkin. Suyuqlik yuklanishi esa quduqning mavjud suyuqlikni yuzaga olib chiqish qobiliyati yetarli emasligidir. Suvlanishi yuqori quduq kuchli gaz oqimi bilan yuklanmasdan ishlashi mumkin; aksincha, suv debiti kichik bo‘lgan juda past debitli quduq ham yuklanadi. Bu farq texnologiya tanlashda hal qiluvchi: suv manbaini izolyatsiya qilish suvlanishni davolaydi, kichik diametrli lift quvuri esa tashish qobiliyatini yaxshilaydi.

Tugunli tahlilning integratsion roli shundan iboratki, u qatlam, quduq va yer usti tizimini bitta bosim balansiga birlashtiradi. Masalan, kislota ishlovi IPRni o‘ngga siljitadi; kichik diametrli lift quvuri VLP egri chizig‘ining shaklini o‘zgartiradi; kompressiya esa terminal bosimni kamaytiradi. Har uch tadbir quduq debitini oshirishi mumkin, ammo xarajat, suyuqlik rejimi va barqarorlik bo‘yicha farq qiladi. Optimal kombinatsiya – eng katta “bir kunlik debit” emas, balki qoldiq zaxiralarni birlik mahsulotga to‘g‘ri keladigan minimal ekspluatatsiya xarajati bilan chiqaradigan barqaror ish nuqtasidir.

Texnologiyani takomillashtirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar

1. Quduq fondini faqat joriy debit bo‘yicha emas, balki $\Lambda_q = q_g/q_{krit}$, quduq usti qarshi bosimi, suyuqlik nisbati va skin-faktor bo‘yicha segmentatsiya qilish kerak. Bu bir xil debitli, ammo turli dominant cheklovga ega quduqlarni ajratadi.

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

2. Λ_q 0,8–1,2 oralig‘iga kirgan quduqlar “kutilayotgan suyuqlik yuklanishi” guruhi sifatida proaktiv boshqarilishi lozim. Ushbu guruhda sirt faol modda sinovi, drosselni optimallashtirish, yig‘ish quvuri bosimini kamaytirish yoki kichik diametrli lift quvuri loyihasi quduq to‘liq yuklanishidan oldin bajariladi.

3. Kichik diametrli lift quvuri tanlashda faqat kritik tezlik emas, yangi lift quvuri uchun VLP egri chizig‘i, eroziya tezligi, tuz cho‘kindisi va korroziya uchun zaxira va kelajakdagi quduqni ta’mirlash imkoniyati hisobga olinadi. Kichik diametrning minimal kritik debit afzalligi yuqori ishqalanish yo‘qotishi bilan muvozanatlanadi.

4. Karbonat quduqda kislotali ishlov faqat qatlamdan quduqqa oqim cheklovi tasdiqlanganda rejalashtiriladi. Musbat skin-faktor, quduq sinovi yoki mahsuldorlik indeksi (PI) pasayishi, PZP shikastlanishi dalili va geologik interval tanlovi bo‘lmasa, kislota ishlovi suyuqlik yuklanishi muammosini yashirishi mumkin.

5. Past qatlam bosimida kislota ishlovidan keyingi o‘zlashtirish va tozalash rejimi loyihaning majburiy qismi bo‘lishi kerak. Kislota hajmi, azot/ko‘pik energiyasi, yakuniy yuvish, vaqtinchalik gazlift yoki kompressiya imkoniyati ishlovdan oldin hisoblanadi.

6. Tabiiy yoriqli karbonatlarda suvli kanallar xavfi mavjud bo‘lsa, divertor yoki bosqichli haydash, selektiv interval izolyatsiyasi va suv manbasini aniqlovchi karotaj usullari ko‘rib chiqiladi. Yuqori suvli yoriqqa kislota kirishi gaz debitini oshirmasdan suv yukini kuchaytirishi mumkin.

7. Yer usti tizimi quduqdan alohida optimallashtirilmasligi kerak. Drossel, separator va yig‘ish quvuri bosimlarining kamayishi ayrim quduqlarda quduq ichki jihozini o‘zgartirishdan ko‘ra yuqori samara beradi. Kon bo‘yicha kompressiya optimallashtirilganda eng katta qo‘shimcha qazib olishni beradigan quduqlar ustuvor qilinadi.

Xulosa

Konlarni ishlashning so‘nggi bosqichida gaz quduqlarining mahsuldorligi pasayishi ko‘p omilli jarayon bo‘lib, qatlam bosimining kamayishi, quduq tubida suyuqlik to‘planishi, yer usti qarshi bosimi va quduq atrofi zonasining filtratsion shikastlanishi o‘zaro kuchaytiruvchi ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli quduqni takomillashtirish texnologiyasi dominant cheklovni aniqlashdan boshlanishi kerak.

Turner–Kolmen tipidagi kritik tezlik modellari suyuqlik yuklanishini dastlabki saralash uchun qulay, ammo dinamik oqim rejimi va quduq geometriyasi sabab universal aniq chegara sifatida qabul qilinmaydi. $\Lambda_q = q_g/q_{krit}$ koeffitsiyenti amaliy kuzatuv indikatori sifatida taklif qilindi; uni bosim tebranishi, suyuqlik debiti va tugunli tahlil bilan birgalikda qo‘llash zarur.

Hisobiy ssenariy lift quvuri ichki diametrining kamayishi kritik standart gaz debitini keskin kamaytirishini ko‘rsatdi. 1,38 MPa (mutlaq) misolida 76,2 mm dan 38,1 mm ga o‘tish q_{krit} ni taxminan 29,48 dan 7,36 ming m³/sutgacha pasaytirdi. Bu kichik diametrli lift quvurining past debitli quduqlarda suyuqlik yuklanishini bartaraf etishdagi samarali mexanizmini ko‘rsatadi, biroq yakuniy diametr VLP va ishqalanish yo‘qotishlari asosida tanlanadi.

Karbonat kollektorlar uchun kislota ishlovi suyuqlik yuklanishining o‘zi uchun emas, musbat skin-faktor va quduq atrofi o‘tkazuvchanligining pasayishi tasdiqlanganda qo‘llanishi lozim. Yoriqlilik, suvli intervallar va past qatlam bosimi kislotali ishlov loyihasiga divertor, bosqichli haydash va ishlovdan keyingi suyuqlikni chiqarish va quduqni tozalash choralarini kiritishni talab qiladi.

So‘nggi bosqichdagi gaz quduqlari uchun eng barqaror yondashuv diagnostika → suyuqlikni chiqarish → qatlamdan quduqqa oqimni jadallashtirish (zarur bo‘lsa) → kompressiya → kuzatuv ketma-ketligi hisoblanadi. Ushbu integratsiya quduq ichki jihozlari, qatlam va yer usti tizimlarini alohida emas, yagona ishlab chiqarish zanjiri sifatida boshqarishga imkon beradi.

Taklif qilingan algoritm real kon ma’lumotlari bilan kalibrlanganda karbonat kollektorli gaz quduqlarining ishlash muddatini uzaytirish, keraksiz ta’mir va kimyoviy ishlovlarni kamaytirish hamda qolgan gaz zaxiralarini iqtisodiy jihatdan samarali o‘zlashtirish uchun metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

Adabiyotlar

[1] Turner R.G., Hubbard M.G., Dukler A.E. Analysis and Prediction of Minimum Flow Rate for the Continuous Removal of Liquids from Gas Wells // Journal of Petroleum Technology. 1969. Vol. 21, No. 11. P. 1475–1482. DOI: 10.2118/2198-PA.

[2] Coleman S.B., Clay H.B., McCurdy D.G., Norris L.H. A New Look at Predicting Gas-Well Load Up // Journal of Petroleum Technology. 1991. Vol. 43, No. 3. P. 329–333. DOI: 10.2118/20280-PA.

[3] Nosseir M.A., Darwich T.A., Sayyouh M.H., El Sallaly M. A New Approach for Accurate Prediction of Loading in Gas Wells Under Different Flowing Conditions // SPE Production & Facilities. 2000. Vol. 15, No. 4. P. 241–246. DOI: 10.2118/66540-PA.

[4] Guo B., Ghalambor A., Xu C. A Systematic Approach to Predicting Liquid Loading in Gas Wells // SPE Production & Operations. 2006. Vol. 21, No. 1. P. 81–88. DOI: 10.2118/94081-PA.

[5] Belfroid S.P.C., Schiferli W., Alberts G.J.N., Veeken C.A.M., Biezen E. Predicting Onset and Dynamic Behaviour of Liquid Loading Gas Wells // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, USA, 21–24 September 2008. SPE-115567-MS. DOI: 10.2118/115567-MS.

[6] Park H.-Y., Falcone G., Teodoriu C. Decision Matrix for Liquid Loading in Gas Wells for Cost/Benefit Analyses of Lifting Options // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2009. Vol. 1, No. 3. P. 72–83. DOI: 10.1016/j.jngse.2009.03.009.

[7] Zhou D., Yuan H. A New Model for Predicting Gas-Well Liquid Loading // SPE Production & Operations. 2010. Vol. 25, No. 2. P. 172–181. DOI: 10.2118/120580-PA.

[8] Riza M.F., Hasan A.R., Kabir C.S. A Pragmatic Approach to Understanding Liquid Loading in Gas Wells // SPE Production & Operations. 2016. Vol. 31, No. 3. P. 185–196. DOI: 10.2118/170583-PA.

[9] Ikpeka P.M., Okolo M.O. Li and Turner Modified Model for Predicting Liquid Loading in Gas Wells // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2019. Vol. 9. P. 1971–1993. DOI: 10.1007/s13202-018-0585-6.

[10] Lea J.F., Nickens H.V., Wells M.R. Gas Well Deliquification. 2nd ed. Gulf Professional Publishing / Elsevier, 2008. 588 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8280-0.X5001-X.

[11] Xalismatov I., Zakirov R.T., Shomurodov Sh.E. Shimoliy Berdax konida suvlangan gaz quduqlarini ekspluatatsiya qilish usullari // Sanoatda raqamli texnologiyalar. 2025. Jild 3, №4. B. 167–172. DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.20.

[12] Samatov Sh.Sh., Akhatova G.A., Xayitov L.K., Jo‘rayeva G.Ch., Makhmudov S.I. The Role of Well Workover and Intensification Methods in Improving the Development Efficiency of Small-Reserve Gas Condensate Fields // Modern Education and Development. 2026. Vol. 43, No. 2. P.

[13] Ermatov N.X., Samatov Sh.Sh., Boyqobilova M.M., Axatova G.A. Karbonat kollektorlarga kislotali ishlov berishni modellashtirish (Matonat va G‘arbiy Kruk konlari misolida) // Innovatsion texnologiyalar. 2025. Tom 59, №3. B. 7–15. UO‘K: 622.276.6:519.876.5.

[14] Samatov Sh.Sh., Mahmudov S.I. Optimization of Acidizing in Carbonate Reservoirs with Explicit Account of Near-Wellbore Geological Structure and Hydrodynamic Conditions // Universum: технические науки. 2025. №10(139). P. 45–49. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20968

[15] Ermatov N.X., Bekov B.X., Boyqobilova M.M., Samatov Sh.Sh., Xushvaqtov G‘.A. Quduqlarga kimyoviy ishlov berishning yangi kompozitsiyalarini tadqiq qilish // Innovatsion texnologiyalar. 2026. Tom 61, №1. B. 23–31. DOI: 10.70769/2181-4732.ITJ.2026-1.03.

[16] Fredd C.N., Fogler H.S. Influence of Transport and Reaction on Wormhole Formation in Porous Media // AIChE Journal. 1998. Vol. 44, No. 9. P. 1933–1949. DOI: 10.1002/aic.690440902.