

UO‘K: 622.692.4; 532.529

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.18>

KON SHAROITIDA QUVURLARDAGI GAZ–SUYUQLIK HARAKATI JARAYONIDA OQIM STRUKTURALARI O‘ZGARISHI TAHLILI

Avlakulov Abdimajit Meyliyevich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
E-mail: abdimajit.avlakulov@mail.ru, ORCID: 0009-0006-6480-0076, Science ID: FQD-0925-0118

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotasiya. Ushbu maqolada gaz–suyuqlik aralashmalarining quvurlar bo‘ylab harakatlanish jarayonlari va ularni gidravlik hisoblash usullarining rivojlanish bosqichlari tahlil qilingan. Gaz, neft, kondensat va suvdan tashkil topgan ikki fazali oqimlarning harakatiga ta’sir etuvchi asosiy gidrodinamik va termodinamik omillar ko‘rib chiqilgan. Mavjud nazariy, yarim empirik va eksperimental tadqiqotlar natijalari umimlashtirilib, bosim yo‘qotilishi, haqiqiy gaz konsentratsiyasi, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti hamda oqim strukturalarining o‘zgarish qonuniyatlari baholangan. Qatlamli, tiqinli va halqasimon oqim rejimlarining shakllanish xususiyatlari hamda ularning quvur tizimlari samaradorligiga ta’siri yoritilgan. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, oqim strukturalarining almashinishi va relyefli quvurlardagi harakat xususiyatlarini hisobga oluvchi universal matematik modellarni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari neft-gaz sanoatida quvur tizimlarini loyihalash, ekspluatatsiya qilish va gidravlik hisoblarni takomillashtirish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: gaz–suyuqlik aralashmasi, ikki fazali oqim, gidravlik hisob, bosim yo‘qotilishi, oqim strukturalari, quvur transporti, gaz konsentratsiyasi.

УДК: 622.692.4; 532.529

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В ТРУБОПРОВОДАХ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Авлакулов Абдимажит Мейлиевич – доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье проведён анализ процессов движения газожидкостных смесей по трубопроводам и современных методов их гидравлического расчёта. Рассмотрены основные гидродинамические и термодинамические факторы, влияющие на движение двухфазных потоков, состоящих из газа, нефти, конденсата и воды. Обобщены результаты теоретических, полуэмпирических и экспериментальных исследований, посвящённых определению потерь давления, истинного газосодержания, коэффициентов гидравлического сопротивления и закономерностей изменения структуры потока. Особое внимание уделено особенностям формирования слоистого, пробкового и кольцевого режимов течения, а также их влиянию на эффективность работы трубопроводных систем. Показано, что существующие модели не всегда учитывают смену режимов течения и особенности движения смесей в рельефных трубопроводах. В связи с этим актуальной задачей является разработка универсальных математических моделей, обеспечивающих более точное описание гидродинамических процессов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, эксплуатации и совершенствовании трубопроводных систем нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: газожидкостная смесь, двухфазный поток, гидравлический расчёт, потери давления, структура потока, трубопроводный транспорт, газосодержание.

UDC: 622.692.4; 532.529

ANALYSIS OF FLOW STRUCTURE CHANGES DURING GAS-LIQUID FLOW IN PIPELINES UNDER FIELD CONDITIONS

Abdimajit Avlakulov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Karshi State Texnical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This paper analyzes the flow behavior of gas–liquid mixtures in pipelines and reviews modern approaches to hydraulic calculations of two-phase flows. The main hydrodynamic and thermodynamic factors affecting the transportation of gas, oil, condensate, and water mixtures are examined. The results of theoretical, semi-empirical, and experimental studies are summarized with particular attention to pressure losses, true gas holdup, hydraulic resistance coefficients, and flow pattern transitions. The characteristics of stratified, slug, and annular flow regimes and their influence on pipeline performance are discussed. The analysis demonstrates that many existing models do not adequately account for flow pattern transitions and the specific features of multiphase flow in pipelines with varying terrain profiles. Therefore, the development of more universal mathematical models capable of accurately describing complex gas–liquid flow processes remains an important scientific and engineering challenge. The findings of this study can serve as a scientific basis for improving hydraulic calculations, optimizing pipeline design, and enhancing the operational efficiency and reliability of oil and gas transportation systems.*

Keywords: *gas–liquid mixture, two-phase flow, hydraulic calculation, pressure loss, flow pattern, pipeline transportation, gas holdup.*

Kirish

Global energetika sanoatida uglevodorod xomashyosini qazib olish, yig‘ish va qayta ishlash jarayonlarida ko‘p fazali oqimlar harakati muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, kon quvur tizimlarida neft, gaz, kondensat va suv aralashmalari bir vaqtning o‘zida harakatlanadi. Bunday muhitlar gaz–suyuqlik ikki fazali tizimlar sifatida qaraladi.

Ma‘lumki, gaz-suyuqlik aralashmalari harakatida geterogen muhitlar orasida kechadigan jarayonlarni matematik ifodalash juda murakkab hisoblanadi. Shu sababli muhandislik hisoblari uchun gaz-suyuqlik oqimini ifodalovchi tenglamalarda turli faraz va soddalashtirishlardan foydalanmaslikning iloji yo‘q.

V.Nezdoyminov, V.Rojkovlar kon sharoitida quvurlardagi gaz-suyuqlik aralashmasi harakatining matematik ifodasini yaratishga harakat qilishgan. Aralashma oqimining qatlamli harakatida bosim tushishi uchun analitik formula taklif etishgan. Lekin kon sharoitida gaz-suyuqlik harakati quvurda strukturalar o‘zgarishi, ya‘ni almashunuvi sharoitida kechadi. Mualliflar bunday jarayonni harakat differensial tenglamalari sistemasi murakkabligi uchun tekshirishmagan. [1] ishda L.P.Xolpanov va boshqalar quvur bo‘ylab gazning nostatsionar harakatini va gaz–suyuqlik aralashmalari harakatini magistral quvurlar uchun nazariy jihatdan o‘rganishgan.

Materiallar va uslublar

R.X.Askarov, X.I.Dadashzade ishida quvurda aralashma oqimining rejim xarakteristikasi asosida gidravlik hisobning asosiy parametrlari uchun analitik formulalar tavsiya etilgan. Ushbu metodika kon hududidagi quvurlar tizimi uchun sinab ko‘rilgan va yaxshi natija berganligi ta‘kidlanadi [2]. Mualliflar Frud va Reynolds o‘lchovsiz parametrlar va gidravlik qarshilik koefitsiyentlari asosida ikki fazalik sistemaning gidrodinamik jarayonlarini modellashtirish mumkin ekanligini ko‘rsatishgan. Bunda oqim strukturasi e‘tiborga olinmaganligi sababli hisoblash formulalarini matematik yo‘l bilan keltirib chiqarish uncha qiyinchilik tug‘dirmasligini ko‘rish mumkin [3]. Shu bois muhandislik hisoblarida soddalashtirilgan modellar, yarim empirik formulalar va eksperimental koefitsiyentlardan foydalaniladi.

Salavatov T.Sh., Askerov R.X., Dadashzade X.I. [4] lar gaz-kondensat aralashmasining umumiy tenglamasini

$$\Delta P_{aral} = \Delta P_s + \Delta P_g + k \sqrt{\Delta P_s \Delta P_g}$$

ko‘rinishda ifodalanishni taklif qilishgan, bu yerda ΔP_{aral} - aralashmaning ishqalanishdagi bosim yo‘qotilishi, ΔP_s va ΔP_g -lar mos ravishda alohida suyuqlik va alohida gaz oqimining ishqalanishdagi bosim yo‘qotishlari, k - o‘lchamsiz, eksperimental parametr. Ushbu bog‘lanish avval [5] ishlarda sinovdan o‘tganligi qayd etiladi. Unda metodika aralashmadagi fazalarning turli nisbatlariga yaxshi natija bergan. Ammo bu harakat tenglamasi relyefli quvurlar uchun natija bermaydi.

V.S.Semenyakin tomonidan bu borada bir paytning o‘zida ham nazariy va eksperimental tadqiqotlar o‘tkazilgan. Quvurdagi gazkondensat aralashmasi oqimida quvur ichida ro‘y beradigan gidravlik va termodinamik jarayonlarni hisobga olish asosida gidravlik hisobni yuritish zarurligini e‘tirof etadi. Bosimning kamayishi evaziga gaz fazasining kengayishi va uning solishtirma hajmining o‘sishi, zichlik esa kamayishi kuzatilgan. U o‘zining tadqiqotida gaz sarfiga bog‘liq ravishda quvur uzunligi bo‘ylab bosim tushishini turli grafiklarda tushuntirishga harakat qilgan [6].

[7] monografiyada keyingi yillarda gaz-suyuqlik aralashmasining quvurlardagi harakatiga doir nazariy va eksperimental tadqiqotlar hamda ularning natijalari hozirgi zamon nuqtai nazaridan tahlil qilingan. Unda ishlarning tub mohiyati, ulardan olingan natijalar atroflicha bayon qilingan. Bu ishlar aralashmaning quvurdagi harakati quvur diametri, suyuqlik va gaz fazalarining tezliklari va yopishqoqligi va boshqa gidrodinamik va termodinamik parametrlarining keng diapazondagi o‘zgarishiga bog‘liq ravishda olib borilgan. Ayniqsa quvurda yuz beradigan oqim strukturasi almashinuvi sharoitida aralashma harakat differensial tenglamalarining tasniflanishini muhim ahamiyat kasb etadi. Ammo harakat differensial tenglamalarining integrallanishi anchagina soddalashtirish va farazlar asosida amalga oshirilishi mumkinligini qayd etish mumkin. Bu o‘rinda harakat tenglamalarini integrallashning ketma-ket yaqinlashish usulini amalga oshirish jarayoni haqida hech narsa bayon etilmagan.

30-40 yillarda vertikal quvur bo‘ylab gaz-suyuqlik harakati jiddiy ravishda eksperimental usulda o‘rganila boshlandi. Bu ishlar sirasiga P.M.Kolesnikovning uncha uzun bo‘lmagan quvurda o‘tkazgan tajribasini kiritish mumkin [8]. P.M.Kolesnikov asosan vertikal quvur bo‘ylab, neftning havo bo‘ylab ko‘tarish jarayonini o‘rgangan. Birozdan so‘ng esa olimlar gorizontall quvurda gaz-suyuqlik aralashmasi harakatini o‘rgana boshlashdi. Bu yo‘nalishda tadqiqotlarga birinchi navbatda A.A.Armand [1], A.I.Gujov [9], V.A.Mamaev, G.E.Odishariya, N.N.Smenov, A.A.Tochigen, V.Z. Minlikaev ishlarini kiritish mumkin.

A.A.Armand o‘z eksperimental kuzatishlarini quyidagi 4 qismga bo‘lib o‘tkazdi:

1. Quvurda suyuqlik va gaz pufaklari aralashmalari quvur bo‘ylab notekis joylashgan holda harakatlanadi.
2. Quvurda suyuqlik pastda gaz yuqorida harakatlanadi (qatlamli harakat). Yuqoridagi ikkala tipda ham aralashma gazning kam konsentratsiyasi holida harakatlanadi.
3. Suyuqlik quvurning ichki devori bo‘ylab harakatlanadi, o‘rtada esa gaz oqimi harakatlanadi (halqalik rejim).
4. Suyuqlikning asosiy qismi quvur ichki devori bo‘ylab harakatlanadi, gaz o‘rtada harakatlanib, o‘zi bilan birga suyuqlik tomchilarini ham olib ketib turadi.

Muallif bu kuzatishlarda yarim empirik formulalardan foydalangan. Ammo A.A.Armand tadqiqotlarida bir rejimdan ikkinchi rejimga o‘tish sohasi aniqlanmagan. Rejimlarning almashinish jarayoni bilan S.I.Kosterin shug‘ullangan. Bu soha kiyinchalik V.A.Mamaev, G.E.Odishariya, N.I.Semenov, A.A.Tochigin va L.I.Lujov ishlarida mufassal bayon etilgan.

Natijalar va muhokama

V.G.Karamishev [10] o‘zining eksperimental tadqiqotlarida quyidagilarni aniqlagan va bayon qilgan:

a) Qatlamli strukturada fazalar orasidagi sirtida yuzaga keladigan to‘lqinlarning spektral xarakteristikalari.

b) Fazalar orasidagi sirtida dispers to‘lqinlarning gorizontall quvurdagi suyuqlik balandligiga bog‘liqligi.

d) Gorizontall quvurlarda qatlamli rejimda turbulentlik xarakteristikalari.

e) Qalamli gorizontall oqimlarda urinma kuchlarning taqsimoti.

f) Qatlamli rejimda fazalar orasidagi sirtida tezlik taqsimotining to‘lqin xarakteristikasiga bog‘liqligi.

g) turbulentlik masshtabi.

[3] ishda gaz-suyuqlik aralashmasida eng ko‘p uchraydigan struktura tiqinli strukturaning ro‘y berishi mumkin bo‘lgan soha ko‘rsatiladi. Bu ishda tiqinlik va qatlamli strukturani ajratish sohasi quvurning qiyalik burchagi α , Fr_{sm} va β parametrlar yordamida aniqlangan. Relyefli quvurlarda haqiqiy gaz konsentratsiyasi φ tadqiq qilinadi. Ta’kidlash joizki, φ quyidagi funksiya ko‘rinishida bo‘ladi:

$$\varphi = f(\alpha, Fr_{aral}, \beta). \quad (1)$$

Yopishqoqlik va sirt tarangligi parametrlarining haqiqiy gaz konsentratsiyasiga ta’siri ham o‘rganiladi.

Eksperimental tadqiqotlar vositasida gazning haqiqiy konsentratsiyasi φ va tiqinli strukturani belgilaydigan parametrlar orasidagi quyidagi bog‘lanishlar aniqlangan

$$\varphi = k \left[1 - \exp \left(-4,4 \sqrt{\frac{Fr_{aral}}{Fr_a}} \right) \right] \beta, \quad (2)$$

bu yerda

$$\left. \begin{aligned} k &= 0,35 + 1,4 \sqrt{\frac{\mu_g}{\mu_s}}; \left(\frac{\mu_g}{\mu_s} \leq 0,01 \right) \\ k &= 0,77 + 0,23 \sqrt{\frac{\mu_g}{\mu_s}}; \left(\frac{\mu_g}{\mu_s} \geq 0,01 \right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

bu yerda $Fr_a - Fr_m$ ning shunday qiymatni hajmiy gaz konsentratsiyasi Fr_{aral} ga bog‘liq bo‘lmay qoladi.

Bu ishda quvur devoridagi urinma kuchlanish

$$\tau = \frac{\lambda_{aral}}{8} \rho_{aral} \cdot V_{aral}^2 \quad (4)$$

ga teng shartga asosan gidravlik qarshilik koeffitsiyenti aniqlangan. Mualliflar tomonidan tavsiya etilgan muhandislik hisoblari yuqorida qayd etilgan (2) va (4) formulalar asosida tushuntiriladi [13, 14].

Chekushina T.V., Panaxov G.M. va Abbasov Z.M. tomonidan gorizontall quvurlarda gaz-suyuqlik harakatiga doir ko‘plab eksperiment natijalari bayon etilgan. Unda quvurdagi aralashma strukturasi haroratning ta’siri o‘rganilgan. Ishning natijasiga ko‘ra haroratning tushishi bilan aralashmada gaz ajralib chiqish jarayoni tezlashib borar ekan [10, 11].

Boris A.A., Lyagov A.V. lar gaz- neft aralashmasiga oz-ozdan suv qo‘yib, quduqdan chiqarish jarayonini tadqiq qilishganda, nasos ishiga negativ ta’sirini kuzatishgan. Olingan natijalarning haqqoniyligini tekshirish uchun matematik metod yordamida olingan hisob bilan solishtirilgan. Turli strukturadagi oqim uchun aralashmadagi suyuqlikning hajmiy konsentratsiyasi qanday o‘zgarishi kuzatilgan [12].

Xulosa

Tahlil qilingan ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, gaz-suyuqlik aralashmalarining quvurlar bo‘ylab harakati ko‘p omilli, nostatsionar va yuqori darajada nochiziqli gidrodinamik jarayon bo‘lib, uning kechishi oqim strukturasi, fazalar nisbati, quvur diametri, qiyalik burchagi, bosim, harorat hamda fizik-mexanik xossalarning o‘zaro ta’siri bilan belgilanadi. Mavjud nazariy, yarim empirik va eksperimental modellar bosim yo‘qotilishi, haqiqiy gaz konsentratsiyasi va gidravlik qarshilik koeffitsiyentlarini baholash imkonini bersa-da, ularning aksariyati oqim strukturalarining almashinuvi va relyefli quvurlardagi harakat xususiyatlarini to‘liq hisobga olmaydi.

Adabiyotlar tahlili natijalari gaz–suyuqlik tizimlarida qatlamli, tiqinli va halqasimon rejimlarning shakllanish mexanizmlari hamda ularning gidravlik parametrlarga ta'siri yetarlicha o'rganilganligini ko'rsatdi. Biroq oqim strukturalarining o'zaro o'tish chegaralari, fazalararo ta'sir kuchlari va turbulentlik xususiyatlarini hisobga olgan universal matematik modellarni yaratish dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda.

Shu munosabat bilan kelgusida gaz–suyuqlik aralashmalarining relyefli quvurlardagi harakatini tavsiflovchi takomillashtirilgan gidrodinamik modellarni ishlab chiqish, zamonaviy raqamli modellashtirish usullari va intellektual monitoring texnologiyalarini qo'llash orqali hisoblash aniqligini oshirish muhim ahamiyat kasb etadi. Bu esa neft-gaz konlarini ekspluatatsiya qilishda energiya sarfini kamaytirish, quvur tizimlarining ishonchligini oshirish hamda uglevodorod mahsulotlarini samarali transport qilish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Gaz–suyuqlik oqimlari ko'p omilli murakkab tizimdir. Oqim strukturalarini aniqlash va ularni hisobga olish kon quvurlarini samarali loyihalashning asosiy sharti hisoblanadi. Zamonaviy raqamli modellashtirish va intellektual monitoring tizimlari kelgusida tadqiqotlar samaradorligini yanada oshiradi.

Adabiyotlar

- [1] Холпанов Л.П., Шкадов В.Я. Гидродинамика и тепломассообмен с поверхностью раздела / -М: Наука 1990. С.318.
- [2] Гусейнзаде М.А., Другина Л.И., Петрова О.Н., Степанова М.Ф. Гидродинамические процессы в сложных трубопроводных системах. - М.: Недра, 1991. - 168 с.
- [3] Панахов Г.М., Аббасов З.М. Влияние газовыделения гидравлические характеристики течения жидкости в трубопроводе/ Проектирование, сооружение и эксплуатации газонефтепроводов и газонефтехранилищ. Баку – 2015 г. стр.19-22]
- [4] Салаватов Т.Ш., Аскеров Р.Х., Дадашзаде Х.И. Определение забойного давления в процессе эксплуатации обводнённых газовых скважин // Газовая промышленность. 2017 г. №1 с. 26-29.
- [5] Сулейманов В.А. Особенности гидравлики газа в трубопроводах с гладким внутренним покрытием. Газовая промышленность. 2014, но. 11, с. 91–94. ИССН 0016-5581.
- [6] Семенякин В.С. Гидравлический расчёт газоконденсатопроводов // Вестник АГТУ. 2006. №6(35) с. 93-97]
- [7] Пашали А.А. Гидромеханика многофазных течений в трубопроводной инфраструктуре нефтяных месторождений //Монография. Уфа. Изд-во ООО Баш НИПИ, 2020. -336 с. 16
- [8] Колесников П.М. Нестационарные двухфазные газожидкостные течения в каналах. -М.: МАКС Пресс, 1986. - 334 с.
- [9] Гужов А.И. Совместный сбор и транспорт нефти и газа. М. Недра. 1973. с.280.
- [10] Карамышев В.Г. Исследование закономерностей совместного транспорта нефти и газа по трубопроводам. Дисс. канд.техн. наук. Уфа, 2002. С.255.
- [11] Чекушина Т.В., Шафеева Г.Х. Инновационные технологии в строительстве и эксплуатации трубопроводного транспорта // Universum: технические науки: электрон. научный журнал 2023. 4 (109). С.342-349
- [12] Борис А.А., Лягов А.В. Определение режима потока газожидкостной смеси в трубопроводах //Электронный научный журнал «Нефтьгазовое дело», 2012, №2. с.53-59.
- [13] Avlakulov A.M., Babajanova I.Y., Babajanov Y.T. Gorizontall quvurlardagi qatlamli gaz-suyuqlik arlashmasi oqimi. Innovatsion texnologiyalar jurnali. №2 (54). 2024. 77-82 b.
- [14] Avlakulov A.M. Gaz-kondensat konlarini o'zlashtirish jarayonida gazni quvurlar orqali tashishning o'ziga xos xususiyatlari. Innovatsion texnologiyalar jurnali. №3 (59). 2025. 21-27 b.