

GAZLARNI TOZALASHDA VERTIKAL SEPARATOR QURILMASINING ICHKI TUZILISHINI TAKOMILLASHTIRISH

Abdullyev Fayoz Rahmonqul o'g'li,

G'aniyev Sarvar Yo'ldosh o'g'li

Qarshi davlat texnika university

Mas'ul muallif, e-mail: fayoz.abdullayev1993@mail.ru

Anatatsiya. Ushbu maqolada tabiiy va xomashyo gazlarni qattiq zarrachalar hamda suyuqlik tomchilaridan samarali tozalash maqsadida vertikal separator qurilmasining ichki konstruksiyasini takomillashtirish masalalari ko'rib chiqilgan. Neft-gaz sanoatida keng qo'llanilayotgan an'anaviy separatorlarning tozalash samaradorligi ko'pincha yetarli darajada yuqori emasligi sababli, separator ichki tuzilishiga konstruktiv o'zgartirishlar kiritish orqali uning ishlash samaradorligini oshirish taklif etilgan. Bunga asosan separtatorning maxsus konstruksiya asosida tajriba qurilmasi ishlab chiqildi. Shunga ko'ra, separator kirish qismiga gaz oqimini ikki qismga ajratuvchi maxsus to'siq o'rnatilib, yuqori qismda spiral shaklli yo'naltiruvchi elementlar yordamida og'ir qattiq zarrachalarni cho'ktirish, pastki qismda esa gaz oqimiga tangensial harakat berish orqali siklon effektini yuzaga keladi. Natijada separator ishchi hajmi oshishi bilan gaz oqimining qurilmada bo'lish vaqti ortishini natijasida diametri 2 mkm dan katta bo'lgan qattiq zarrachalar uchun separatorning tozalash samaradorligi 98 % ga yetishi aniqlangan. Tadqiqot natijalari takomillashtirilgan separator konstruksiyasidan tabiiy gazlarni tozalash jarayonlarida samarali foydalanish mumkinligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: bosim, oqim, sarf, chang zarrachalari, separator, filtrlar, ajratgichlar, konussimon, zichlik, kislotalar.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Абдуллоев Файоз Рахмонкул угли

Ганиев Сарвар Йулдош угли

Каршинский государственный технический университет

Ответственный автор, e-mail: fayoz.abdullayev1993@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы совершенствования внутренней конструкции вертикального сепаратора с целью эффективной очистки природных и сырьевых газов от твёрдых частиц и капельной жидкости. Поскольку эффективность очистки традиционных сепараторов, широко применяемых в нефтегазовой промышленности, во многих случаях является недостаточно высокой, предложено повысить их эксплуатационные показатели за счёт внесения конструктивных изменений во внутреннее устройство сепаратора. На основе данного подхода была разработана экспериментальная установка сепаратора специальной конструкции. В соответствии с

этим на входе сепаратора установлен специальный разделительный экран, обеспечивающий разделение газового потока на два направления. В верхней части с использованием спиралеобразных направляющих элементов осуществляется осаждение тяжёлых твёрдых частиц, тогда как в нижней части за счёт придания газовому потоку тангенциального движения формируется циклонный эффект. В результате увеличения рабочего объёма сепаратора и, соответственно, времени пребывания газового потока в аппарате установлено, что эффективность очистки достигает 98 % для твёрдых частиц диаметром более 2 мкм. Полученные результаты исследований подтверждают возможность эффективного применения усовершенствованной конструкции сепаратора в процессах очистки природного газа.

Ключевые слова: очистка газа, вертикальный сепаратор, твердые частицы, циклонный эффект, центробежная сила, расход газа, рабочий объем, эффективность очистки.

IMPROVEMENT OF THE INTERNAL STRUCTURE OF A VERTICAL SEPARATOR USED FOR GAS PURIFICATION

Abdullyev Fayoz Rahmonqul o'g'li

G'aniyev Sarvar Yo'ldosh o'g'li

Karshi State Technical University

Corresponding author, e-mail: fayoz.abdullayev1993@mail.ru

Abstract. In this article, issues related to improving the internal design of a vertical separator in order to effectively remove solid particles and liquid droplets from natural and raw gases are considered. Since the separation efficiency of conventional separators widely used in the oil and gas industry is often insufficient, it is proposed to enhance their performance by introducing constructive modifications to the internal structure of the separator. Based on this approach, an experimental separator unit with a special design was developed. Accordingly, a special baffle that divides the incoming gas flow into two streams was installed at the separator inlet. In the upper section, spiral-shaped guiding elements are used to promote the settling of heavy solid particles, while in the lower section, a tangential motion is imparted to the gas flow, generating a cyclone effect. As a result, with an increase in the effective working volume of the separator and the corresponding increase in the gas residence time within the device, it was determined that the separation efficiency reaches up to 98% for solid particles with diameters greater than 2 μm . The research results confirm that the improved separator design can be effectively applied in natural gas purification processes.

Keywords: gas purification, vertical separator, solid particles, cyclone effect, centrifugal force, gas flow rate, working volume, separation efficiency.

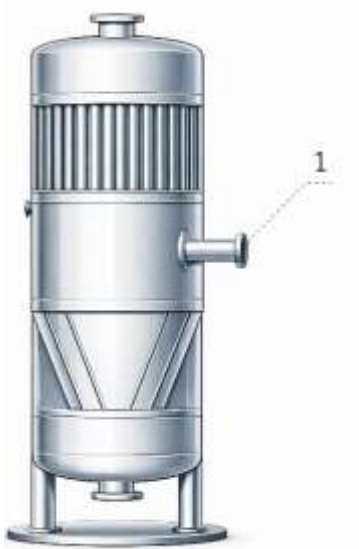
Kirish. Zamonaviy sanoat korxonalarida tabiiy va xomashyo gazlarini tozalash jarayoni ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bilangina cheklanmay, balki ekologik xavfsizlikni yaratish, mehnat muhofazasi sharoitlarini yaxshilash hamda texnologik qurilmalarning ishonchli va uzoq muddatli ishlashini ta'minlash nuqtai nazaridan ham muhim ahamiyat kasb etadi. Neft-gaz, kimyo, energetika, metallurgiya va boshqa og'ir sanoat tarmoqlarida texnologik jarayonlar davomida hosil bo'ladigan gazlar tarkibida ko'pincha sanoat uchun zararli bo'lgan komponentlar — chang zarrachalari, suyuqlik tomchilari, kislotalar, smolali moddalar, og'ir uglevodorodlar va boshqa aralashmalar mavjud bo'ladi. Ushbu ifloslantiruvchi moddalarning yetarli darajada tozalanmasdan texnologik tizimlarga kiritilishi quvurlar va apparatlarning tiqilib qolishiga, issiqlik almashinish qurilmalarda hosil bo'lishiga hamda uskunalarning tez ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, zararli moddalar bilan boyigan gazlarning atmosferaga chiqarilishi ekologik me'yorlarning buzilishiga va atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Shu sababli xomashyo gazlarini samarali tozalash sanoat ishlab chiqarish zanjirining ajralmas va muhim bosqichiga aylangan. Hozirgi kunda gazlarni tozalashda siklonlar, filtrlar, skrubberlar, adsorberlar va sentrifugal qurilmalar kabi turli texnologik yechimlar qo'llanilmoqda. Biroq ushbu qurilmalarning tozalash samaradorligi gaz tarkibi, bosim va harorat rejimi, oqim tezligi, ajraluvchi zarralarning fizik-kimyoviy xususiyatlari hamda qurilmaning konstruktiv tuzilishiga bevosita bog'liq bo'lib, ko'plab hollarda yetarli darajada yuqori natija bermaydi. Shu bois gazlarni tozalash texnologiyalarini takomillashtirish, separator qurilmalarining konstruksiyasini modernizatsiya qilish va ularni optimal ish rejimida ekspluatatsiya qilish dolzarb ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi.

Neft-gaz sanoatida separatorlar asosiy texnologik qurilmalardan biri bo'lib, ularning vazifasi xom neft va gaz aralashmalaridan gaz, suyuqlik va qattiq fazalarni samarali ajratishdan iborat. Biroq amaliyot shuni ko'rsatadiki, separatorlarning ishlash samaradorligi ko'plab murakkab va o'zaro bog'liq omillar ta'sirida pasayadi, natijada ajratish jarayoni to'liq va barqaror amalga oshmaydi [1]. Ushbu maqolada separator qurilmasining samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilinib, ichki konstruktiv tuzilishni takomillashtirish orqali gazni tozalash samaradorligini oshirishga qaratilgan amaliy yechimlar taklif etiladi.

Tadqiqot metodlari. Neft-gaz sanoatida gazlarni tozalash jarayonlari gaz oqimidan qattiq zarrachalar, suyuqlik tomchilari va boshqa zararli aralashmalarni ajratib olishga qaratilgan turli texnologik usullarni o'z ichiga oladi. Amaliyotda ushbu maqsad uchun filtratsiya, siklon ajratish, cho'ktirish, mexanik ajratgichlar, elektrostatik usullar hamda kimyoviy tozalash texnologiyalari keng qo'llaniladi. Ushbu usullar, asosan, sanoat va energetika tarmoqlarida tabiiy gaz va chiqindi gazlarni atmosferaga chiqarishdan oldin tozalash uchun ishlatiladi [2]. Gazlarni tozalash qurilmalarining turi va tanlanishi texnologik jarayonning xususiyatlari, ifloslantiruvchi moddalarning fizik-kimyoviy xossalari, ularning konsentratsiyasi va hajmi, shuningdek, ob'ektning ish sharoitlariga bog'liq bo'ladi. Gazni tozalash qurilmalarini hisoblash va tanlash jarayoni yangi ishlab chiqarish liniyasini loyihalash bosqichida yoki mavjud texnologiyalarni modernizatsiya qilish jarayonida amalga oshiriladi [3]. Neft quduqlaridan olinadigan xom neft tarkibida ko'p miqdorda orticha aralashmalar suyuqlik va zarrachalar mavjud bo'lib, ular yetarli darajada tozalanmasa gazni qayta ishlash qurilma

ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Gaz oqimining noto'g'ri boshqarilishi qurilma ichidagi oqim maydonining buzilishiga olib keladi, bu esa suyuqlik tomchilari va qattiq zarrachalarning harakat trayektoriyalarini murakkablashtiradi hamda ajratish jarayonini qiyinlashtiradi. Shu sababli separatorlarni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonida gaz oqimini boshqaruvchi maxsus elementlardan foydalanish, gazning separatorda bo'lish vaqtini optimallashtirish va ajratish samaradorligini oshirish muhim ahamiyat kasb etadi [4]. Gazlarni tozalashda separator qurilmasining ichki tuzilishini optimallashtirish gazlarni tozalashning samarali usullaridan biri hisoblanadi [5]. Tabiiy gazlarni zararli qo'shimchalardan tozalashning eng samarali va iqtisodiy jihatdan maqbul usullaridan biri separator qurilmasining konstruktiv tuzilishini optimallashtirish hisoblanadi. Separator samaradorligi tomchilar diametrining kvadratiga to'g'ridan-to'g'ri, gaz oqimi yo'lining balandligiga esa teskari proporsional bog'liqlikda bo'ladi. Separator ichida bir nechta ichki plastinalardan foydalanish asosiy oqim kanalini kichik bo'laklarga ajratadi, turbulentlikni kamaytiradi, tomchilarning separatorda bo'lish vaqtini uzaytiradi va ularning devorlar bilan to'qnashish ehtimolini oshiradi. Natijada tomchilar birlashib yiriklashadi va ajratish samaradorligi ortadi [6]. Mazkur tadqiqotda qattiq zarrachalarni ajratish samaradorligini oshirish maqsadida separator qurilmasining ichki tuzilishiga konstruktiv o'zgartirishlar kiritildi (1-rasm).



1-rasm. Separator

1-separatorga kirish oqimini ikkiga qismga bo'luvchi to'siq

Separator kirish qismida gaz oqimini ikki qismga ajratuvchi to'siqqa gaz oqimi urilishi natijasida kattaroq bo'lgan zarrachalar va mavjud suyuqliklar pastga cho'kadi. Shuningdek separatorga kirayotgan gaz oqimi ikki qismga ajratadi. Yuqori qismda gaz spiral shaklli plastinalar orqali aylana bo'ylab yuqoriga va pastga harakatlanib, og'ir qattiq zarrachalarning cho'kishini ta'minlaydi. Pastki qismda esa gaz oqimiga tangensial harakat berilib, siklon struktura hosil qilinadi. Gaz oqimi siklon struktura bo'yicha pastga harakati davomida, siklonning pastki qismining diametri kichik bo'lganligi sababli, bosim ortadi. Bosimning ortishi natijasida gaz oqimidagi zarrachalar pastga cho'kadi. Shuningdek, ushbu qismda

markazdan qochma kuchlar ta'sirida zarrachalar siklon devoriga urilib cho'kadi. Sikloning pastki qismida bosim ortganligi sababli tozalangan gaz yuqoriga ko'tariladi. Yuqori va pastki qismlarning markaziy oqimlari bir nuqtada birlashib, tozalangan gaz qurilmaning yuqori qismidan chiqib ketadi.

Natija va muhokamalar. Qazib olingan gazlarni oddiy cho'ktirish qurilmalarida tozalash amaliy jihatdan qiyin bo'lib, bu holat gaz sarfi bilan cho'ktirish apparatlarining geometrik va texnologik mos kelmasligi hamda ajratish samaradorligining pastligi bilan izohlanadi. Shu sababli sanoatda gazlarni tozalash jarayonlarida separator qurilmalaridan keng foydalaniladi. Tadqiqotda ko'rib chiqilgan separator silindrik va konussimon qismlardan iborat bo'lib, unda tozalangan gazni chiqarish hamda ajratilgan chang va suyuqliklarni tushirish uchun alohida patrubkalar mavjud.

Gaz oqimi separatorning pastki qismiga tangensial yo'nalishda berilib, qurilma ichida pastga qarab spiralsimon aylanma harakatni amalga oshiradi. Natijada markazdan qochma kuch hosil bo'lib, ushbu kuch ta'sirida gaz tarkibidagi qattiq zarrachalar oqim o'qidan qurilmaning ichki devoriga tomon siljiydi. Devorga urilgan zarrachalar kinetik energiyasini yo'qotib, og'irlik kuchi ta'sirida pastga cho'kadi. Separatorning konussimon pastki qismida gaz oqimi inersiya ta'sirida aylanishni davom ettiradi va markaziy sohada yuqoriga yo'nalgan ikkilamchi oqim hosil bo'ladi. Tozalangan gaz markaziy quvur orqali yuqori qismga ko'tarilib, qurilmadan chiqariladi. Separatorning yuqori qismi spiral shaklda joylashtirilgan metall plastinalardan tashkil topgan bo'lib, gaz oqimi ushbu plastinalar orasida aylanma harakat qiladi. Har bir spiral o'ramda gaz oqimi yo'nalishining o'zgarishi natijasida qattiq zarrachalar va suyuqlik tomchilari plastinalarga uriladi hamda og'irlik kuchi ta'sirida pastga tushadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, separatorning tozalash darajasi asosan qattiq zarrachalarning o'lchami, gaz oqimining tezligi, separatorning geometrik o'lchamlari va ichki konstruktiv tuzilishiga bog'liq bo'ladi. Separator samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar qatoriga gaz va suyuqlikning fizik-kimyoviy xossalari, fazalar zichliklari farqi ($\rho_s - \rho_g$), gaz oqimining tezligi va hajmi, ish sharoitlari (bosim va harorat), separatorning diametri va balandligi, shuningdek oqimda emulsiyalar yoki ko'piklarning mavjudligi kiradi. Agar fazalar zichliklari o'rtasidagi farq katta bo'lsa, ajratish jarayoni osonlashadi, aksincha zichliklar yaqin bo'lganda ajratish samaradorligi sezilarli darajada pasayadi. Gaz oqimi sarfining separator ishchi hajmiga nisbati ham muhim ahamiyatga ega: gaz sarfi haddan tashqari katta bo'lsa, tozalash darajasi pasayadi, juda kichik bo'lsa qurilmaning unumdorligi kamayadi. Shu sababli gaz oqimi tezligi va separator hajmi o'rtasidagi optimal nisbatni ta'minlash zarur [7].

Separator hajmini aniqlash formulasi separatorning turi (gorizontal yoki vertikal), ajratilayotgan fazalar soni (ikki fazali yoki uch fazali) va oqimdagi komponentlarning fizik-kimyoviy xossalari qarang farq qiladi. Quyida eng ko'p ishlatiladigan vertikal ikki fazali separator (gaz-suyuqlik) uchun asosiy formulalar bilan tanishasiz:

$$V = Q \cdot t$$

bu yerda, V-suyuqlik fazasi uchun hajm, m³; Q- oqim miqdori gaz yoki suyuqlik, m³/h ; t- ajralish uchun kerakli vaqt, s [8].

Suyuqlik fazasi va qattiq zarrachlarni ajralish uchun ketgan vaqt:

$$t_L = \frac{V_L}{Q_L}$$

bu yerda, V_L - suyuqlik va qattiq zarrachalarni uchun ajratish zonasi hajmi, m^3 ; Q_L –gaz oqimi, m/s.

Gazdagi tomchilarni cho‘ktirish uchun yetarli ajratish balandligi kerak. Bu gazning ko‘ndalang tezligi bilan aniqlanadi:

$$A = \frac{Q_g}{v_g}$$

bu yerda, A - gaz oqimi uchun separator kesimi, m^2 ; Q_g – gaz sarfi, m^3/s ; v_g — ruxsat etilgan gaz tezligi separator ichida, m/s [9].

Kelib chiqqan qiymatlardan separatorning diametrini topish:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Separatorning umumiy balandligi topish:

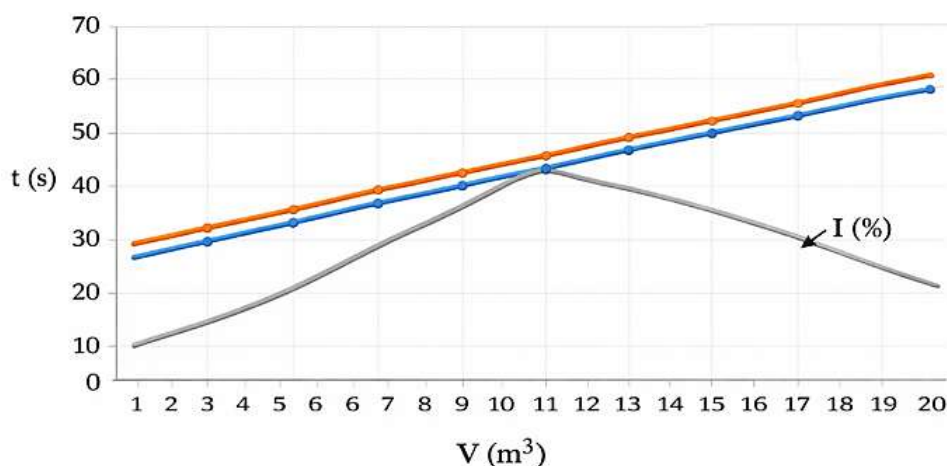
$$H_u = H_l + H_s + H_m + H_g$$

bu yerda, H_l - suyuqlik uchun bo‘lim; H_s -cho‘kindi zonasi (odatda 10–20% qo‘shiladi); H_m - ajratuvchi moslama balandligi; H_g - gaz fazasining ajratish balandligi [10].

Separatorning umumiy hajmini topish:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H_u$$

Separatorning asosiy geometrik va texnologik parametrlari hisoblash yo‘li bilan aniqlandi. Vertikal ikki fazali separator uchun ishchi hajm, ajratish vaqti, gaz oqimi kesimi, diametri va umumiy balandligi mos formulalar yordamida belgilandi . Biroq haqiqiy ekspluatatsiya sharoitida gaz oqimining turbulent harakati, bosim va haroratning o‘zgarishi hisoblangan parametrlarning amaliy qiymatlardan ma’lum darajada farq qilishiga olib kelishi mumkin. Shu bois dizayn va ekspluatatsiya jarayonida oqim kanalini oqilona loyihalash, gaz tezligini nazorat qilish va turbulentlikni kamaytirish orqali ajratish jarayonini barqarorlashtirish talab etiladi.



2-rasm. Gaz oqimining separatorida bo‘lish vaqtining separator ishchi hajmiga bog‘liqligi.

2-rasmda gaz oqimining separatorida bo‘lish vaqti separatorning ishchi hajmiga bog‘liqligi keltirilgan. Separator ishchi hajmining ortishi gaz oqimining qurilmada bo‘lish vaqtini uzaytiradi va bu holat tozalash samaradorligining oshishiga olib keladi. Eng yuqori natija separator ishchi hajmi 10 m³ bo‘lganda, gaz oqimining separatorida bo‘lish vaqti 38 s ni tashkil etgan holatda kuzatildi. Ichki konstruktiv o‘zgartirishlar natijasida separator ichida zarrachalar va suyuqlik tomchilarining o‘zaro to‘qnashuvi kuchayib, tomchilarning yiriklashishi va zarrachalarning tezroq cho‘kishi ta‘minlandi. Bu esa ajratish vaqtini qisqartirish va umumiy tozalash samaradorligini oshirishga xizmat qildi. Suyuqlik va qattiq zarrachalarning separator plastinalari bilan to‘qnashuvini ko‘paytirish uchun oqim maydonining barqarorligini ta‘minlash muhim hisoblanadi. Bunga gaz oqimi tezligini rostlash, oqim kanalida aylanishlar sonini oshirish hamda separator ichki elementlarini oqilona joylashtirish orqali erishildi.

Xulosalar. Olib borilgan tadqiqotlar natijalari separator qurilmalarining uzoq muddatli va barqaror ishlashini ta‘minlashda ularning ichki konstruktiv elementlarini o‘zaro muvofiqlashtirish muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi. Takomillashtirilgan separator konstruktsiyasi turli o‘lchamdagi qattiq zarrachalar va suyuqlik tomchilarini samarali ajratib olishga moslashtirilgan bo‘lib, qurilmaning yuqori va pastki qismlarida hosil bo‘ladigan gaz oqimlarining murakkab harakati ajratish jarayonining intensivlashuviga xizmat qiladi. Gaz oqimining aylanish, spiralsimon va markazdan qochma harakatlari turli zarrachalarning samarali ajralishiga qulay sharoit yaratadi. Tajriba sinovlari natijalariga ko‘ra, taklif etilgan separator qurilmasida gidravlik qarshilik an‘anaviy konstruktsiyalarga nisbatan biroz yuqori bo‘lishiga qaramay, gazni tozalash darajasi sezilarli darajada oshib, diametri 2 mkm dan katta bo‘lgan qattiq zarrachalar uchun 98 % gacha yetishi aniqlangan. Bu holat separatorning ichki tuzilishiga kiritilgan konstruktiv o‘zgartirishlarning samaradorligini tasdiqlaydi va taklif etilgan yechimning amaliy ahamiyatini ko‘rsatadi. Shuningdek, qurilmaning ishchi hajmi bilan gaz oqimi sarfi o‘rtasidagi optimal moslik gazning separatorida bo‘lish vaqtini oshirib, tozalash jarayonining samaradorligini ta‘minlashi aniqlandi. Separator ichki elementlarining oqilona joylashtirilishi natijasida zarrachalar va tomchilarning o‘zaro to‘qnashuvi kuchayib, qurilmasining ichki tuzilishiga kiritilgan konstruktiv o‘zgartirishlar yerdan qazib olingan tabiiy gazni qattiq va suyuq aralashmalardan tozalash samaradorligini oshirish imkonini berdi. Olingan natijalar takomillashtirilgan separator konstruktsiyasini neft-gaz sanoatida gazlarni tozalash jarayonlarida qo‘llash maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi hamda ushbu yo‘nalishda keyingi ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Дмитриев А В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен В.Л., «Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата» Вестник КГЭУ, 2018, том 10, № 1 (37) Энергетика.

2. Rajabbojev A.I., Abdulloyev H.R “Gazlarni mexanik usullarda tozalash tahlili” “Science and Education” Scientific Journal / www.openscience.uz December 2023 / Volume 4 Issue 12.

3. Guzel Rafikovna Ganieva, Putu Aunda Niradgnani “Modernization of Two-Phase Oil and Gas Separator” Copyright <http://revistas.uni.edu.ni/index.php/Nexo> (uni). todos los derechos reservados

4. М.Ч. Шамханов «Очистка газа от сероводорода и серосодержащих соединений» ISSN 2223-4047 Вестник магистратуры. 2021. № 5-5 (116) и

5. А.В. Трулев, С.Ф. Тимушев, В.О. Ломакин, А.В. Клипов «Особенности повышения надежности эффективности газосепараторов погружных установок электроцентробежных насосов для добычи пластовой жидкости» Известия высших учебных заведений. Машиностроение 5(758) 2023.

6. Evgenya Shestakova, Flura Bulyukova, Liaisan Zainagalina, Alexander Davydov and Venera Zaylalova “Improvement of the standard device for entering a gas-liquid mixture into a gas separator” // E3S Web of Conferences 623, 02020 (2025) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562302020> AEES2024.

7. A B Feodorov, V I Afanasov, R S Miroshnikov, V V Bogachev //Concept of modernization of input device of oil and gas separator// IPDME 2017 IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 082020 1234567890 doi :10.1088/1755-1315/87/8/082020.

8. Ахметзанова Р Н., Емельянычева Е А., Абдуллин А И. //Совершенствование работы нефтегазовых сепараторов // БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ СБОРНИК СТАТЕЙ – 2021.

9. Hanyong Lia, Jiaqing Chena, Jiaqing Wangb, Jing Gongb, Bo Yua// An improved design method for compact vertical separator combined with the theoretical method and numerical simulation// Journal of Petroleum Science and Engineering Received 3 April 2018; Received in revised form 4 July 2018; Accepted 22 October 2018 journal homepage: www.elsevier.com/locate/petrol.

10. Ruiping Zhi Biao Lei, Cancan Zhang, Weining Ji, Yuting Wu// Experimental study of single screw expander with different oil-gas separators in compressed air powered system// Energy <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121371> 0360-5442/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.