



Mavhum qaynash qatlamining gidrodinamik jarayonlar tahlili

Dilnoza M. Pulatova

dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; pulatovadilnoza83@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-0321-6555>

Dolzarblik: issiqlik energetika sohasida yoqilg'ini samarali yoqish, issiqlikni maksimal darajada uzatish va chiqindilarni kamaytirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Bu masalalarni hal etishda mavhum qaynash qatlamiga ega texnologiyalar alohida ahamiyatga ega bo'lib, ular energiya tizimlarining ish faoliyatini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. Mavhum qaynash qatlami – bu gaz va mayda zarrachalar aralashmasidan tashkil topgan murakkab gidrodinamik muhit bo'lib, u orqali issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari yuqori samara bilan kechadi. Mavhum qaynash qatlamining gidrodinamik jarayonlarini o'rganish, ularni matematik modellash va amaliyotga joriy etish – issiqlik energetika tizimlarini modernizatsiya qilish, energiya samaradorligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta'minlashda juda dolzarb va strategik ahamiyat kasb etadi.

Maqsad: mavhum qaynash qatlamidagi gaz va qattiq zarrachalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir asosida yuzaga keladigan gidrodinamik jarayonlarni o'rganish, matematik modellash va eksperimental natijalar asosida tizimning ish faoliyatiga ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash.

Usullar: mavhum qaynash qatlamining fizik-mexanik xususiyatlarini nazariy jihatdan o'rganish va uning turlari bilan tanishish. Zarrachalarning diametri, zichligi, gazning tezligi, Reynolds va Nusselt sonlari, qaynash qatlami uchun g'ovaklilik ϵ kabi parametrlar asosida hisob-kitoblar olib boriladi, hamda qatlam tezligiga bog'liq ravishda uning gidravlik qarshiligining o'zgarish grafigi tahlil qilindi.

Natijalar: mavhum qaynash qatlamli tizimlarning asosiy ishlash tamoyili, yoqilg'i yoqishda qaynash qatlamiga xos bo'lgan asosiy xususiyatlar, mavhum qaynash qatlamda zarrachalarning zaruriy o'lchamlari keltirilgan. Qatlam tezligiga bog'liq ravishda uning gidravlik qarshiligining o'zgarish grafigi va mavhum qaynash qatlamning gidrodinamik tahlili yoritilgan.

Kalit so'zlar: qatlam tezligi, mavhum qaynash qatlam, yoqilg'i yoqish, donador material, mexanik jarayon, zarracha.

For citation: Pulatova D.M., Analysis of hydrodynamic processes in a fluidized bed. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 69-73.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15743155>

Received: 20.04.2025

Revised: 10.05.2025

Accepted: 08.06.2025

Published: 24.06.2025

Copyright: © Dilnoza M. Pulatova, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/>)

Анализ гидродинамических процессов в кипящем слое

Дилноза М. Пулатова

доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; pulatovadilnoza83@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-0321-6555>

Актуальность: в области тепловой энергетики одной из актуальных проблем является эффективное сжигание топлива, максимальная передача тепла и снижение выбросов. Для решения этих задач особую роль играют технологии с малообъемными кипящими слоями, существенно улучшая работу энергетических систем. Кипящий слой - это сложная гидродинамическая среда, состоящая из смеси газа и мелких частиц, через которую процессы тепло- и массопереноса происходят с высокой эффективностью. Изучение гидродинамических процессов в кипящем слое, их математическое моделирование и внедрение в практику имеет важное стратегическое значение для модернизации тепловых энергетических систем, повышения их эффективности и обеспечения экологической устойчивости.

Цель: изучение гидродинамических процессов, возникающих на основе взаимодействия газа и твердых частиц в кипящем слое, математическое моделирование и определение основных факторов, влияющих на работу системы на основе экспериментальных данных.

Методы: теоретическое изучение физико-механических свойств кипящего слоя и ознакомление с его разновидностями. Расчёты проводятся на основе таких параметров, как диаметр и плотность частиц, скорость газа, числа Рейнольдса и Нуссельта, а также пористость ϵ для кипящего слоя. Также проводится анализ графика изменения гидравлического сопротивления слоя в зависимости от скорости потока.

Результаты: раскрыт основной принцип работы систем с кипящим слоем, приведены основные характеристики, присущие кипящему слою при сжигании топлива, а также указаны необходимые размеры частиц для эффективной работы слоя. Освещён график изменения гидравлического сопротивления слоя в зависимости от скорости потока, а также выполнен гидродинамический анализ псевдооживленного кипящего слоя.

Ключевые слова: скорость слоя, кипящий слой, сжигание топлива, зернистый материал, механический процесс, частица.



Analysis of hydrodynamic processes in a fluidized bed

Dilnoza M. Pulatova

dots., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; pulatovadilnoza83@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-0321-6555>

Relevance: in the field of thermal power engineering, one of the key issues is the effective combustion of fuel, maximizing heat transfer, and reducing emissions. To address these challenges, technologies based on fluidized beds play a significant role in improving the performance of energy systems. A fluidized bed is a complex hydrodynamic environment consisting of a mixture of gas and fine particles, through which heat and mass transfer processes occur with high efficiency. Studying the hydrodynamic processes in fluidized beds, modeling them mathematically, and implementing them in practice is of strategic importance for modernizing thermal power systems, improving their efficiency, and ensuring ecological sustainability.

Aim: to study the hydrodynamic processes arising from the interaction between gas and solid particles in a fluidized bed, to perform mathematical modeling, and to identify the key factors influencing system performance based on experimental results.

Methods: theoretical study of the physical and mechanical properties of the fluidized bed and an overview of its types. Calculations are carried out based on parameters such as particle diameter and density, gas velocity, Reynolds and Nusselt numbers, and porosity (ϵ) of the fluidized bed. Additionally, the variation of the bed's hydraulic resistance depending on the flow velocity is analyzed through corresponding graphs.

Results: the basic operating principle of systems with a fluidized bed is described, along with the main characteristics specific to fluidized beds during fuel combustion. The required particle sizes for effective operation within the bed are also provided. The graph of hydraulic resistance variation depending on the bed velocity is presented, and a hydrodynamic analysis of the fluidized bed is conducted.

Keywords: bed velocity, fluidized bed, fuel combustion, granular material, mechanical process, particle.

1. Kirish (Introduction)

Qaynash qatlamlarida issiqlik uzatishning yaxshi xususiyatlari mavjudligi tufayli, turli sanoat jarayonlarida, masalan, material qatlamida issiqlik almashinuvi jarayonlari metallurgiya, energetika, kimyo va sanoatning boshqa sohalarining qurilmalarida keng qo'llaniladi. Qaynayotgan qatlamlarning xossalari issiqlik samarasi bilan bog'liq reaksiyalarni o'z ichiga oladi. Bunday jarayonlarda yuqori darajada issiqlik chiqarish talab etilishi mumkin. Buning misollari sifatida qaynayotgan qatlamda ko'mir yoqish jarayonlarini keltirish mumkin [1-3].

Issiqlik ishlab chiqarish va uzatishning roli to'g'ri tushunilishi uchun batafsil ma'lumot talab etiladi. Bu ma'lumotlar qaynayotgan qatlamlardagi gidrodinamika va issiqlik uzatish bo'yicha tadqiqotlarni ham o'z ichiga oladi [2-4].

Qattiq donador materialli gazlarning o'zaro harakat jarayonlari istiqbolli va keng tarqalgan, ularda zarrachalarning oqimlari aralashishi bilan energiya almashinuvi hisobiga, biridan boshqasiga nisbatan qo'zg'aluvchan bo'lib qoladi. Donador materialning bunday holati "mavhum qaynash" yoki oddiy suyuqlik tomchilarni tashqi o'xshashligi hisobiga qaynash qatlam deb nomlanadi. Qattiq materiallarni mavhum qaynashi amalga oshiriladigan jarayonlar sanoatning turli sohalarida qo'llaniladi. Ularga masalan, kimyoviy jarayonlar: neftdan engil yonilg'i mahsulotini olish, yoqilg'ilarni gazlashtirish, turli xil rudalarni toblash; fizik va kimyoviy jarayonlar; mayda donador, metallarga termik ishlov berish, gazlarni qizdirish va sovitish; mexanik jarayonlar: donador materiallarni boyitish, donadorlash, donador materiallarni aralashtirish va transport qilish va hokazo. aniqlikda tez va ishonchli hisoblash imkonini yaratish yo'nalishida takomillashtirish va bunday talablarga javob beradiganlarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Mavhum qaynash qatlamlar katta yuzali kontakt maydoniga ega bo'lib, bu suyuq va qattiq fazalar orasida issiqlikning samarali almashinuvi ta'minlaydi. Bu xususiyat bunday tizimlarni haroratni aniq nazorat qilish talab etiladigan jarayonlar uchun ideal echimga aylantiradi.

Qattiq zarrachalarni suyuqlikdek oson harakatlantirish qobiliyati Mavhum qaynash jarayoni qattiq zarrachalarning samarali aralashuvi va harakatlanishini ta'minlaydi. Bu esa bir xilda aralashtirish yoki zarrachalarni tez-tez qo'shish va olib tashlash talab etiladigan texnologik jarayonlarda juda foydali hisoblanadi. Keng doiradagi zarracha o'lchamlarini qayta ishlash imkoniyatini beradi. Mavhum qaynash qatlamlar turli o'lchamdagi zarrachalar bilan ishlashga mos keladi.

Qatlamlar zarrachaning xususiyatiga bog'liq holda zich va qaynash qatlamlarga bo'linadi. Zich qatlamda zarrachalarni gazlar yuvib o'tganda issiqlik ular orasida saqlanadi. Qatlamning holatini aniqlovchi parametr bu - g'ovaklilik " ϵ " hisoblanadi, u zarrachalar orasidagi bo'shliq hajmini qatlamning butun hajmiga nisbatini ifodalaydi. Zich qatlam uchun $\epsilon = 0,35 \div 0,55$. Qaynash qatlamida

zarrachalar kamerada tartibsiz harakatda bo'ladi, ammo uni yuvib turuvchi gaz oqimi bilan chiqib keta olmaydi. Qaynash qatlami uchun $\varepsilon = 0,6 \div 0,75$ oraliqda bo'ladi [6, 9].

Zich qatlamda bir elementdan boshqasiga tashqi issiqlik almashinuvi nurlanish yoki konveksiya bilan sodir bo'ladi. Qatlamni qizdirishda gaz nurlanishining o'rni kichik, sababi, elementlar orasidagi kanal o'lchamlari kichikligi va nurlanuvchi gazlarning konsentratsiyasi pastligidir. Tajriba va hisoblash ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, elementdan elementga nurlanish 500°C dan yuqori haroratlarda hisobga olinadi. Past haroratlarda qatlamda issiqlik almashinuvi asosan konveksiyadan aniqlanadi va buni jadallashtirish uchun qatlam balandligi bo'yicha kanallarning shakli va o'lchami uzluksiz o'zgarishi hisobiga gaz oqimi kuchli turbulizatsiya qilinadi.

3. Natijalar (Results)

Mavhum qaynash qatlamli tizimlarning asosiy ishlash tamoyili quyidagicha, zarrachalarning tashqi ko'rinishi va dinamik xossalari jihatidan qaynash holatga keladi hamda uning harakatlari asosan gidrostatika qonunlariga bo'ysunadi.

Yoqilg'ini yoqishda qaynash qatlamiga xos bo'lgan asosiy xususiyatlar quyidagilardan iborat:

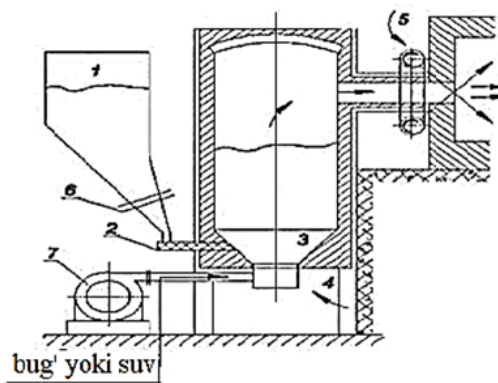
- Yoqilg'i zarrachalarining gaz pufakchalari orqali jadal aralashib turishi, bu esa qatlamda kuchli harorat tafovutlarining paydo bo'lishini oldini oladi va natijada shlaklanish yuz bermaydi.

- Qaynash qatlamdan issiqlik o'tkazuvchi yuzalarga issiqlik o'tkazuvchanligini kuchaytirish (qattiq materialning zarrachasi, ishchi gaz bilan qoplangan quvur yuzasida soviydi, zichlikdagi farqlar tufayli, bir xil hajmdagi gaz zarrachasiga qaraganda bir necha marta ko'proq issiqlik beradi, zamonaviy o'txonada issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\sim 250 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{K}$ tashkil etadi) [5];

- Qattiq yoqilg'ining yonish jarayonini jadallashtirish (qaynash, aylanish, to'qnashuvlar, maydalash va mayda changga ishqalanish tufayli, maxsus oksidlanish yuzasining ortishi va sirtining doimiy "yangilanishi" bilan izohlanadi).

Mavhum qaynash qatlamda zarrachalarning o'lchamlari 2 dan 12 mm gacha bo'lgan qo'ng'ir va tosh ko'mirlar o'txonada yoqiladi (1. rasm).

Ishchi kameraga $0,3 \div 0,6 \text{ kg/kg}$ miqdorida bug'ni kiritish orqali qatlamda yondirilayotgan ko'mirning shlaklanishini yo'qotish mumkin. Bug'ni maxsus sochuvchi qurilmalar yordamida purkaladi, yoki bug'ni suv bilan almashtirish mumkin (suv sarfi $0,2 \div 0,3 \text{ kg/kg}$) [7-9].



1-rasm. Qisman gazlantirilgan qaynash qatlamli o'txona

Fig.1. Partially gasified fluidized bed furnace

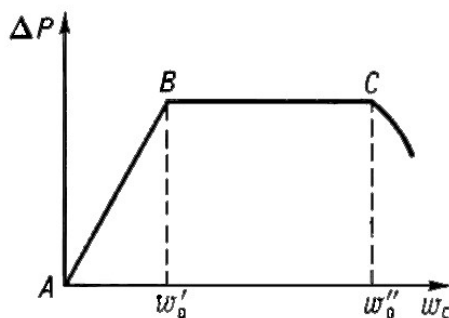
1 - yoqilg'i bunker; 2 - zarrachalarni transportirovka qilish; 3 - panjara; 4 - asosiy havoni etkazib berish uchun purkash qutisi; 5 - ikkilamchi havo ta'minoti; 6 - bunker qopqog'i; 7 - havo xaydash tizimi.

4. Munozara (Discussion)

Ushbu ishda shakllantirilgan maqsadga muvofiq tarzda amalga oshirilgan qaynash qatlamining hosil bo'lish prinsip tadqiqot ishlarining natijalari quyidagicha. Agar ushlab turuvchi panjarada joylashgan donador material qatlamining ostidan issiqlik tashuvchilar (gaz yoki suyuqlik) oqimi yuborilsa, qatlamning holati oqim tezligiga bog'liq holda turlicha bo'lib qoladi. Tezlik bir tekisda noldan bir qancha birinchi kritik qiymat $w_{kr} = w'_0$ gacha ortganda oddiy filtrlash jarayoni sodir bo'ladi, bunda qattiq zarrachalar qo'zg'almaydi va qatlamning ε o'zgarmaydi, ammo uning gidrodinamik qarshiligi ΔP esa tezlik w ortishi bilan ortadi.

Qatlamning harakatsiz holatdan qaynash holatiga o'tish jarayonida oqimning tezligi, oqimining gidrodinamik bosimi (P), qatlamdagi zarrachalariga ta'sir etuvchi og'irlik kuchiga (G) tenglashadi. Qaynash qatlamning tezligi yanada oshirganda, qatlam dastlab kengayadi (balandligi ortib boradi),

biroq bu bosqichda gidravlik qarshilik o'zgarmasdan qoladi. Agar gidrodinamik bosim og'irlik kuchidan ortib ketsa, ya'ni $P > G$ sharti vujudga kelganda, ya'ni oqimning gidrodinamik bosimi zarralarning og'irlik kuchidan oshib ketganda, qatlamdagi zarrachalar yuqoriga qarab ko'tarilib, qatlamdan tashqariga chiqib keta boshlaydi.



2-rasm. Qatlam tezligiga bog'liq ravishda uning gidravlik qarshiligining o'zgarishi
Fig.2. Variation of hydraulic resistance of the bed depending on its velocity

2 - rasmda, qatlamdagi bosimning pasayishi “ ΔP ” qaynash qatlamdagi tezligi w'_0 ga bog'liqligi tasvirlangan. Qatlam hali harakatsiz holatda bo'lganda, qaynash qatlamning tezligi w'_0 ortishi bilan bosim P ham ortib boradi (AV qismida). B nuqtasidan keyin qatlamning qaynash holatiga o'tadi, tezlik ortganda qatlam qarshiligi o'zgarmaydi (BC). (S nuqtada) oqimning tezligi bir qancha w''_0 qiymatiga ortganda qatlam kamayishda davom etadi va zarrachalar harakatining jadalligi oshadi. $w'_0 > w''_0$ bo'lganda qattiq zarrachalar qatlamni tark eta boshlaydi. B va C nuqtalariga to'g'ri keladigan qaynash qatlami w'_0 - mavhum qaynash boshlanishining tezligi, w''_0 - uchib chiqishning boshlanish tezligi deb ataladi.

Qatlam uchun Reynolds va Nusselt sonlarini hisoblashning xususiyati shundaki, chiziqli o'lcham sifatida zarrachaning diametridan foydalaniladi, gazning tezligi esa qatlamning bo'sh kesimida aniqlanadi. SHunday qilib:

$$\text{Re}_{\text{qat}} = \frac{w_g d}{\nu_g}; \quad \text{Nu}_{\text{qat}} = \frac{\alpha_g d}{\lambda_g}. \quad (1)$$

Gazning issiqlik sig'imi λ_g va kinematik qovushqoqligi ν_g o'rtacha harorat bo'yicha hisoblanadi.

Mavhum qaynash qatlam (gaz yoki havo) ta'sirida qattiq zarralarning qaynashini va ularning har birini turg'un holatdan harakatga kelishini ta'minlaydi. Qaynash qatlam bu jarayonda Mavhum qaynash qatlam tezligiga bog'liq holda zarrachalarning bir-biriga nisbatan harakatlanishi, va bu qatlamning tekshirilgan shiddatiga qarab qatlamning barqarorligi o'zgarishi mumkin.

Uchib chiqishning boshlanish tezligi w''_0 - bu tezlik, qaynash qatlamning tezligi ortishi bilan zarrachalar og'irlik kuchini engib, katta tezlik bilan sistemadan chiqib ketadi. Bu, o'z navbatida, qatlamning barqarorligini yo'qotishga olib keladi. Uchib chiqishning boshlanish - zarrachalarning katta tezlik bilan chiqib ketishini belgilaydi va bu holatda qatlamning samaradorligi kamayadi.

Gidrodinamik bosim va og'irlik kuchining o'zaro ta'siri: Qaynash qatlamda Mavhum qaynash tezligi ortishi bilan gidrodinamik bosim va zarrachalarning og'irlik kuchini tenglashtirish va ularning taqsimlanishini ta'minlash muhim ahamiyatga ega. Agar gidrodinamik bosim (P) zarrachalarning og'irlik kuchini (G) engib ketsa, zarrachalar qatlamdan uchib chiqib ketadi, bu holatda qatlamning barqarorligi yo'qoladi.

Qaynash qatlamining tezligini jadallashtirish, qatlamdagi turg'unlikni saqlash va zarrachalarning uchib chiqishini oldini olish uchun muhimdir. Mavhum qaynash tezligi va uchib chiqish tezligini hisobga olish, qatlamning samaradorligini ta'minlashda, shuningdek, energiyani to'g'ri taqsimlash va qatlamdan zarrachalarning uchib chiqib ketishini oldini olish uchun muhim ahamiyatga ega.

5. Xulosa (Conclusion)

Mavhum qaynash boshlanishi qatlamning gidravlik qarshilik kuchi barcha zarrachalarning og'irligiga tenglashganda yuz beradi. Biroq, amaliyotda mavhum qaynash boshlanishiga to'g'ri keladigan bosim tushishi qatlamni havoda muallaq holatda ushlab turish uchun zarur bo'lgan bosim tushishidan biroz kattaroq bo'ladi. Qaynayotgan qatlam ishlashini tahlil qilishda Mavhum qaynash qatlamning tezligi va zarrachalarning harakatlanish dinamikasi asosiy rol o'ynaydi. Mavhum qaynash va uchib chiqib ketish tezliklarini aniqlash, qatlamning barqarorligini saqlash va energiya samaradorligini oshirishga yordam beradi. Bularning barchasi texnologik jarayonlarning jadallashtirishi va ishlash samaradorligining oshishiga olib keladi.



ADABIYOT

1. Ahmed Hammood Darweesh, Musa Mustafa Weis. The Impact of Particle Size in Fluidized Bed on Heat Transfer Behavior: A Review // *Advances in Mechanical and Materials Engineering*, 2024. DOI: 10.7862/rm.2024.4.
2. Alberto Di Renzo, Fabrizio Scala and Stefan Heinrich. Recent Advances in Fluidized Bed Hydrodynamics and Transport Phenomena - Progress and Understanding. *Case Studies in Thermal Engineering* Volume 69, May 2025, 105989.
3. Nascimento, O.; Reay, D.; Zivkovic, V. Solid Circulating Velocity Measurement in a Liquid–Solid Micro-Circulating Fluidised Bed. *Processes* 2020, 8, 1159. [CrossRef].
4. Mu, L.; Buist, K.; Kuipers, J.; Deen, N. Hydrodynamic and Heat Transfer Study of a Fluidized Bed by Discrete Particle Simulations. *Processes* 2020, 8, 463. [CrossRef].
5. Jan Baeyens, Li Shuo, Raf Dewi, Huili Zhang and Yimin Deng. Fluidized Bed Technology: Challenges and Perspectives January 2022IOP Conference Series Earth and Environmental Science 952(1):012010 DOI:10.1088/1755-1315/952/1/012010.
6. Igor Sidorenko and Martin J. Rhodes. Pressure Effects on Gas-Solid Fluidized Bed Behavior. //Article in *International Journal of Chemical Reactor Engineering* January 2003 DOI: 10.2202/1542-6580.1107 CITATIONS 31 READS.
7. Gibilaro, L. G., "Fluidization-Dynamics." Butterworth-Heinemann, Oxford, (2001).
8. Di Renzo, A.; Rito, G.; Di Maio, F. Systematic Experimental Investigation of Segregation Direction and Layer Inversion in Binary Liquid-Fluidized Bed. *Processes* 2020, 8, 177. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version].
9. Котлы с топками кипящего слоя. Электронный ресурс, URL: <https://web.archive.org/web/20170620021130/http://energsovet.ru/entech.php?idd=47>.

REFERENCES

1. Ahmed Hammood Darweesh, Musa Mustafa Weis. The Impact of Particle Size in Fluidized Bed on Heat Transfer Behavior: A Review // *Advances in Mechanical and Materials Engineering*, 2024. DOI: 10.7862/rm.2024.4.
2. Alberto Di Renzo, Fabrizio Scala and Stefan Heinrich. Recent Advances in Fluidized Bed Hydrodynamics and Transport Phenomena - Progress and Understanding. *Case Studies in Thermal Engineering* Volume 69, May 2025, 105989.
3. Nascimento, O.; Reay, D.; Zivkovic, V. Solid Circulating Velocity Measurement in a Liquid–Solid Micro-Circulating Fluidised Bed. *Processes* 2020, 8, 1159. [CrossRef].
4. Mu, L.; Buist, K.; Kuipers, J.; Deen, N. Hydrodynamic and Heat Transfer Study of a Fluidized Bed by Discrete Particle Simulations. *Processes* 2020, 8, 463. [CrossRef].
5. Jan Baeyens, Li Shuo, Raf Dewi, Huili Zhang and Yimin Deng. Fluidized Bed Technology: Challenges and Perspectives January 2022IOP Conference Series Earth and Environmental Science 952(1):012010 DOI:10.1088/1755-1315/952/1/012010.
6. Igor Sidorenko and Martin J. Rhodes. Pressure Effects on Gas-Solid Fluidized Bed Behavior. // Article in *International Journal of Chemical Reactor Engineering* January 2003 DOI: 10.2202/1542-6580.1107 CITATIONS 31 READS.
7. Gibilaro, L. G., "Fluidization-Dynamics." Butterworth-Heinemann, Oxford, (2001).
8. Di Renzo, A.; Rito, G.; Di Maio, F. Systematic Experimental Investigation of Segregation Direction and Layer Inversion in Binary Liquid-Fluidized Bed. *Processes* 2020, 8, 177. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version].
9. Fluidized bed combustion boilers. Electronic resource, URL: <https://web.archive.org/web/20170620021130/http://energsovet.ru/entech.php?idd=47>.