



Issiqlik tashuvchining qo'shimcha kiritishi bilan fontan qatlamli apparatida qattiq fazani aralashtirish strukturasi matematik modellashtirish

Alisher Sh. Shaislamov¹, Nodirbek A. Abdullaev², Rovshan R. Juraev^{2, a}

¹ t.f.n., prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; shaislamov@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-0842-2737>

² PhD, bosh mutaxassis, Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Elektr energiyasi, neft mahsulotlari va gazdan foydalanishni nazorat qilish bosh boshqarmasi, Toshkent, 100047, O'zbekiston; nodirbek_9204@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-3141-6020>

^{2, a} bosh mutaxassis, Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Elektr energiyasi, neft mahsulotlari va gazdan foydalanishni nazorat qilish bosh boshqarmasi, Toshkent, 100047, O'zbekiston; rjgreat1994@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4933-6408>

Dolzarbli: Quritish jarayoni sanoat ishlab chiqarishida, ayniqsa, yuqori namlik va to'planishga moyil bo'lgan polidispers materiallarni qayta ishlashda eng ko'p energiya talab qiladigan bosqichlardan biridir. Shu nuqtai nazardan, fontan qatlamli qurilmalari faol gidrodinamik rejimlar tufayli intensiv issiqlik va massa uzatishni ta'minlaydigan samarali echimdir. Ulardan foydalanish bo'laklarning shakllanishini minimallashtirish va yuqori haroratlarda ham quritish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Biroq, ushbu qurilmalarning keng qo'llanilishi ma'lum konstruktiv va ekspluatatsion cheklovlar bilan to'sqinlik qiladi, bu esa energiya tejaydigan va yuqori samarali modifikatsiyalarni ishlab chiqishni talab qiladi.

Bu kamchiliklar qo'shimcha issiqlik tashuvchi kirishlari bilan energiya tejovchi va yuqori mahsuldor fontan qatlamli apparatida bartaraf etiladi.

Maqsad: Qo'shimcha issiqlik tashuvchi kirishlari va quritish moslamalarining muhandislik hisobiga analitik echimlarga olib keladigan fontan qatlamli apparatida qattiq fazani aralashtirish tuzilishining matematik tavsifi.

Usullari: Qo'shimcha issiqlik tashuvchi kirishlari bo'lgan fontan qatlamli apparatida qattiq faza harakatining gidrodinamikasini tavsiflash uchun zarrachalar harakati strukturasi kombinatsiyalangan gidrodinamik modeli qo'llaniladi.

Natijalar: Qattiq faza harakatining tuzilishini tavsiflovchi, qo'shimcha issiqlik tashuvchi kiritishiga ega bo'lgan fontan qatlamli apparati uchun kombinatsiyalangan gidrodinamik modelning javob egri chizig'i uchun tenglama olinadi.

Kalit so'zlar: fontan qatlamli, oqim tuzilishi, ideal aralashtirish, ideal siqib chiqazish, yashash vaqti, qo'shimcha issiqlik tashuvchi kiritish, javob egri chizig'i.

Математическое моделирование структуры перемешивания твердой фазы в аппарате фонтанирующего слоя с дополнительным вводом теплоносителя

Алишер Ш. Шаисламов¹, Нодирбек А. Абдуллаев², Ровшан Р. Жураев^{2, a}

¹ к.т.н., проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; shaislamov@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-0842-2737>

² PhD, главный специалист, Главное управление инспекции по контролю за использованием электроэнергии, нефтепродуктов и газа при Кабинете Министров, Ташкент, 100047, Узбекистан; nodirbek_9204@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-3141-6020>

^{2, a} главный специалист, Главное управление инспекции по контролю за использованием электроэнергии, нефтепродуктов и газа при Кабинете Министров, Ташкент, 100047, Узбекистан. rjgreat1994@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4933-6408>

Актуальность. Процесс сушки является одним из наиболее энергоемких этапов в промышленном производстве, особенно при обработке высоковлажных и полидисперсных материалов, склонных к комкованию. В этом контексте аппараты фонтанирующего слоя представляют собой эффективное решение, обеспечивающее интенсивный тепло- и массообмен за счет активных гидродинамических режимов. Их применение позволяет минимизировать образование комков и повысить эффективность сушки даже при высоких температурах. Однако широкому распространению этих аппаратов препятствуют определенные конструктивные и эксплуатационные ограничения, что требует разработки

For citation: A.Sh.Shaislamov, N.A.Abdullaev, R.R.Juraev., Mathematical modeling of the structure of mixing of the solid phase in the apparatus of a fountaining layer with an additional input of a heat carrier. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 109-115. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16941078>

Received: 14.01.2025
Revised: 19.03.2025
Accepted: 17.05.2025
Published: 27.06.2025

Copyright: © Alisher Sh. Shaislamov, Nodirbek A. Abdullaev, Rovshan R. Juraev, 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/4.0/>).



энергоэффективных и высокопроизводительных модификаций.

Эти недостатки устранены в энергоэффективном и высокопроизводительном аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя.

Цель. Математическое описание структуры перемешивания твердой фазы в аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя и доведение аналитических решений до инженерного расчета сушильных установок.

Методы. Для описания гидродинамики движения твердой фазы в аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя использована комбинированная гидродинамическая модель структуры движения частиц.

Результаты. Получено уравнение кривой отклика, комбинированной гидродинамической модели для аппарата фонтанирующего слоя с дополнительным вводом теплоносителя, характеризующее структуру движения твердой фазы.

Ключевые слова: фонтанирующий слой, структура потоков, идеальное перемешивание, идеальное вытеснение, время пребывания, дополнительный ввод теплоносителя, кривая отклика.

Mathematical modeling of the structure of mixing of the solid phase in the apparatus of a fountaining layer with an additional input of a heat carrier

Alisher Sh. Shaislamov¹, Nodirbek A. Abdullaev², Rovshan R. Juraev^{2,a}

¹ PhD, Prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; shaislamov@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-0842-2737>

² PhD, Chief Specialist, Main Department of Inspection for Control over Use of Electricity, Oil Products and Gas under the Cabinet of Ministers, Tashkent, 100047, Uzbekistan; nodirbek_9204@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-3141-6020>

^{2,a} Chief Specialist, Main Department of Inspection for Control over Use of Electricity, Oil Products and Gas under the Cabinet of Ministers, Tashkent, 100047, Uzbekistan. rjgreat1994@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4933-6408>

Relevance. The drying process is one of the most energy-intensive stages in industrial production, especially when processing high-moisture and polydisperse materials prone to clumping. In this context, spouted bed devices are an effective solution that provides intensive heat and mass transfer due to active hydrodynamic modes. Their use allows minimizing lump formation and increasing drying efficiency even at high temperatures. However, certain design and operational limitations prevent the widespread use of these devices, which requires the development of energy-efficient and high-performance modifications.

These drawbacks are eliminated in an energy-efficient and high-performance spouted bed device with additional coolant inputs.

Aim: Mathematical description of the structure of solid phase mixing in a spouted bed device with additional coolant inputs and bringing analytical solutions to the engineering calculation of drying units.

Methods: A combined hydrodynamic model of the particle motion structure is used to describe the hydrodynamics of solid phase motion in a spouting bed apparatus with additional coolant inputs.

Results. An equation for the response curve of a combined hydrodynamic model for a spouting bed apparatus with additional coolant input is obtained, characterizing the structure of solid phase motion.

Key words: spouting bed, flow structure, ideal mixing, ideal displacement, residence time, additional coolant input, response curve.

1. Введение (Introduction)

Для достижения высоких технико-экономических показателей типовых сушилок необходимым условием является высокая интенсивность тепло- и массообмена, а также их маневренность. Сушка высоковлажных полидисперсных материалов склонных к комкованию представляет особую сложность. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют аппараты взвешенного слоя с активными гидродинамическими режимами, в частности аппараты фонтанирующего слоя. Специфика организации фонтанирующего слоя дает возможность обрабатывать материалы большой степенью полидисперсности. Большие скорости оживающего агента в ядре фонтана способствуют разбиванию образующихся комков; кратковременность пребывания материала в ядре фонтана позволяет вести обработку материала при высоких температурах. Систематическое циклическое движение твердых частиц в фонтанирующем слое обуславливает уникальную



гидродинамическую обстановку, которая в некоторых случаях более целесообразна, чем в общепринятых системах псевдооживленного слоя.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о целесообразности применения для сушки высоковлажных, полидисперсных и комкующихся полимеров (ди- и триацетатцеллюлозы) и ряда подобных материалов наиболее целесообразным является применение аппаратов с фонтанирующим слоем.

Вместе с тем аппаратам фонтанирующего слоя присущи определенные недостатки, препятствующие их широкому распространению в химической промышленности. К числу таких недостатков относятся: высокий начальный перепад давления, вызывающий необходимость использования высоконапорных дутьевых устройств, и сравнительно небольшая величина активной зоны по сравнению с объемом слоя, а также низкий расход сушильного агента, обусловленный необходимостью предотвращения уноса материала. Эти недостатки устранены в энергоэффективном и высокопроизводительном аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя [1].

Целью данной работы является создание наиболее полного математического описания структуры перемешивания твердой фазы в аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя и доведение аналитических решений до инженерного расчета сушильных установок, так как от точности и надежности применяемых методов расчета зависит правильное проектирование и экономичная эксплуатация сушильных аппаратов.

2. Методы (Methods)

Для описания гидродинамики фонтанирующего слоя традиционно используется модель идеального перемешивания.

Гидродинамическая обстановка в исследуемом аппарате усложняется наличием дополнительных хордальных вводов теплоносителя [1,2]. Можно предположить, что движение частиц в этом аппарате происходит циклически следующим образом: теплоноситель, подаваемый через нижнее сечение, подхватывает частицы и поднимается вверх аппарата, образуя ядро фонтана. Частицы в верхней части аппарата, сепарируясь, опускаются в периферийную зону. Двигаясь вниз, частицы попадают в зону действия боковых вводов теплоносителя. Струйные потоки образуют область с высокоинтенсивным режимом перемешивания частиц. Пройдя эту зону, частицы медленно опускаются к устью фонтана. После чего начинается новый цикл движения частиц.

Выгрузочное устройство находится на стороне конуса, ниже зоны действия боковых вводов.

Исходя из вышесказанного, предлагается комбинированная гидродинамическая модель движения твердой фазы в аппарате фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя. Схема предлагаемой комбинированной гидродинамической модели представлена на рис. 1. Первые две зоны – ядро фонтана и область действия боковых вводов – описываются моделью идеального перемешивания, третья зона, включающая периферийную область, ниже зоны действия дополнительных вводов, – описывается моделью идеального вытеснения. Все зоны охвачены рециклом. Определяющими параметрами предложенной модели являются объемные доли зон идеального перемешивания и вытеснения и параметр рециркуляции. Значение параметра рециркуляции зависит от гидродинамической обстановки в аппарате. Величина параметра рециркуляции может определяться экспериментально по среднему времени пребывания, а также по безразмерной дисперсии времени пребывания меченых частиц в аппарате.

Комбинированная гидродинамическая модель структуры движения твердой фазы в аппарате состоит из уравнений, составленных на основе материального баланса меченых частиц в потоке.

Распределение времени пребывания меченых частиц в аппарате находится в зависимости от способа подачи меченых частиц на вход аппарата [3]. Например, подача меченых частиц на вход аппарата может производиться в виде импульсного возмущения. В этом случае полученную кривую отклика называют C -кривой.

3. Результаты и обсуждения (Results and discussion)

Для аналитического определения функций отклика сначала определим передаточную функцию системы (рис. 1).

Для первой и второй зон, которые описываются моделью идеального перемешивания, материальный баланс по меченым частицам при импульсном возмущении будет следующим:

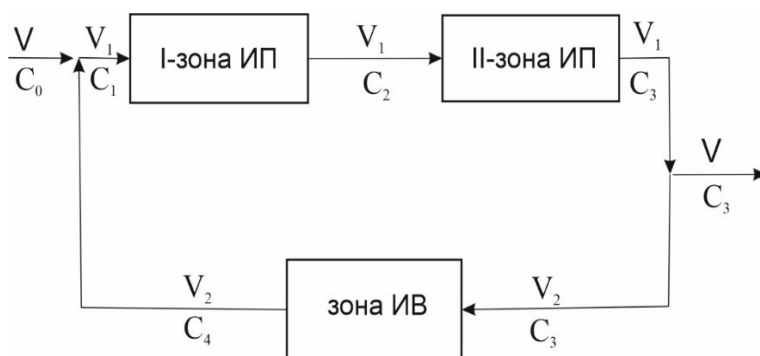


Рис. 1. Схема комбинированной гидродинамической модели

Fig. 1. Scheme of the combined hydrodynamic model

$$v_1 (C_1 - C_2) = V_{\Pi} \frac{dC_2}{d\tau} \quad (1)$$

$$v_1 (C_2 - C_3) = V_{\Pi} \frac{dC_3}{d\tau} \quad (2)$$

Для третьей зоны, которая описывается моделью идеального вытеснения, аналогичным образом получим:

$$-\frac{\partial C}{\partial \tau} = -\frac{v_2}{b} \cdot \frac{\partial C_3}{\partial V_a} \quad (3)$$

где C_i – концентрация меченых частиц в зонах;

V_{Π} – объем зоны перемешивания. Объем первой зоны перемешивания принимаем равным объему второй зоны перемешивания.

v_i – объемная скорость; V_a – объем аппарата; b – объемная доля зоны вытеснения.

Для уравнения (3) начальные и граничные условия имеют вид:

$$\tau = 0; \quad C = 0; \quad V_a = 0; \quad C = C_4 \quad (4)$$

Применяя преобразования Лапласа для уравнения (3), получим:

$$S C(S) = \frac{v_2}{b} \cdot \frac{\partial C(S)}{\partial V_a} \quad (5)$$

С учетом начальных и граничных условий (4) решением уравнения (5) является:

$$\frac{C_3(S)}{C_4(S)} = e^{\frac{b}{v_2} V_a S} \quad (6)$$

Для упрощения последующих преобразований обозначим:

$$\frac{V_{\Pi}}{v_1} = \frac{V_{\Pi}}{V_a} \cdot \frac{V_a}{v} \cdot \frac{1}{\frac{v_1}{v}} = \frac{m \bar{\tau}}{P + 1}$$

$$\frac{b}{v_2} V_a = \frac{b \bar{\tau}}{P} \quad (7)$$

где m – объемная доля зоны перемешивания; P – параметр рециркуляции; $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания.

Уравнения (1) и (2), учитывая (7), принимают вид:

$$C_1 - C_2 = \frac{m}{P + 1} \bar{\tau} \frac{dC_2}{d\tau} \quad (8)$$

$$C_2 - C_3 = \frac{m}{P + 1} \bar{\tau} \frac{dC_3}{d\tau} \quad]$$

Применяя для обоих уравнений системы (8) преобразование Лапласа, получаем:

$$C_1(S) - C_2(S) = \frac{m}{P + 1} \bar{\tau} S C_2(S) \quad (9)$$

$$C_2(S) - C_3(S) = \frac{m}{P + 1} \bar{\tau} S C_3(S) \quad]$$

Из системы уравнений (9) определим зависимость $C_1(S)$ от функций $C_3(S)$, после математических преобразований получаем:



$$C_1(S) = 1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} \right)^2 C_3(S) \quad (10)$$

Материальный баланс входного сечения (рис. 1) имеет вид:

$$v C_0 + v_2 C_4 = v_1 C_1 \quad (11)$$

Материальный баланс для выходного сечения будет:

$$v_1 C_3 = v_2 C_3 + v C_3 \quad (12)$$

или

$$v_1 = v_2 + v$$

Подставляя (12) в (11), после алгебраических преобразований получим:

$$C_0 + P C_4 = (P+1) C_1 \quad (13)$$

Применяя преобразование Лапласа к выражению (13), получим:

$$C_0(S) + P C_4(S) = (P+1) C_1(S) \quad (14)$$

Подставляя в уравнение (14) выражения (6) и (10), с учетом уравнения (7) найдем:

$$C_0(S) + P C_3(S) e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P}S} = (P+1) \left[1 + \left(\frac{m}{P+1} \bar{\tau} S \right)^2 \right] C_3(S) \quad (15)$$

Из уравнения (15) определяется передаточная функция $W(S)$, представляющая собой отношение преобразованного по Лапласу выходного сигнала $C_3(S)$ к входному сигналу $C_0(S)$. Если входной сигнал имеет вид импульсного возмущения, то выходной сигнал является C -кривой, передаточная функция имеет вид:

$$W(S) = \frac{C_3(S)}{C_0(S)} \quad (16)$$

На основе уравнения (16) с помощью уравнения (15) получим:

$$W(S) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{m}{P+1} \bar{\tau} S \right)^2 - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P}S} \right]} \quad (17)$$

Выражение (17) представляем в следующем виде:

$$W(S) = \frac{1}{P+1} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P \exp(-b\bar{\tau}/P)}{(P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right]}} \quad (18)$$

Последний множитель в формуле (18) можно разложить в бесконечный ряд.

$$\frac{1}{1 - \frac{P \exp(-b\bar{\tau}/P)}{(P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right]}} = 1 + \frac{P \exp\left(-\frac{b\bar{\tau}}{P}\right)}{(P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right]} + \dots \quad (19)$$

С учетом уравнений (19) и (18) для передаточной функции получаем выражение в виде суммы:

$$W(S) = \sum_{i=1}^{\infty} \mu_i(S) \quad (20)$$

Общий член суммы в уравнении (20) имеет вид:

$$\mu_i = \frac{P^{i-1}}{(P+1)^i} \cdot \frac{\exp\left[-(i-1) \frac{b\bar{\tau}}{P} S\right]}{\left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right]^{2i}} \quad (21)$$

Произведя обратное преобразование Лапласа для выражения (20), с учетом (21) окончательно для безразмерной функции отклика получим:

$$C(\theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{P^{i-1}(1+P)^i}{m^{2i}(2i-1)!} \left[\theta - (i-1) \frac{b}{P} \right]^{2i-1} \times \\ \times e^{-\frac{1+P}{m} \left[\theta - (i-1) \frac{b}{P} \right]} \cdot 1 \left[\theta - (i-1) \frac{b}{P} \right] \quad (22)$$

При известной передаточной функции нетрудно определить моменты случайных величин. Определим моменты первого и второго порядка, т.е. среднее время пребывания и дисперсию, для этого воспользуемся формулой:

$$M_n = (-1)^n \frac{d^n W(S)}{dS^n} \Big|_{S \rightarrow 0} \quad (23)$$

Сначала определим момент первого порядка: для этого в уравнении (23) подставим формулу для передаточной функции (17):



$$M_1 = (-1) \frac{d}{dS} \left\{ \frac{1}{(P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right] - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S}} \right\} \Bigg|_{S \rightarrow 0} =$$

$$= (-1) \frac{(-) \left\{ (P+1) \left[2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + 2 \frac{m^2 \bar{\tau}^2}{(P+1)^2} S \right] + P \frac{b\bar{\tau}}{P} e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\}}{\left\{ (P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right] - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\}^2} \Bigg|_{S \rightarrow 0} \quad (24)$$

$$M_1 = \frac{+(P+1) 2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + b\bar{\tau}}{[(P+1) - P]^2} = \frac{2m\bar{\tau} + b\bar{\tau}}{1} = (2m + b) \bar{\tau} = \bar{\tau}$$

итак

$$M_1 = \bar{\tau} \quad (25)$$

Момент второго порядка определим из уравнения (23)

$$M_2 = (-1)^2 \frac{d^2 W(S)}{dS^2} \Bigg|_{S \rightarrow 0} = \frac{d^2 W(S)}{dS^2} \Bigg|_{S \rightarrow 0} =$$

$$= \frac{d}{dS} \left(\frac{d W(S)}{dS^2} \right) \Bigg|_{S \rightarrow 0} \quad (26)$$

С учетом выражения (24) получим:

$$M_2 = \frac{d}{dS} \left\{ \frac{(-)(P+1) \left[\frac{2m\bar{\tau}}{P+1} + 2 \frac{m^2 \bar{\tau}^2}{(P+1)^2} S \right] + b\bar{\tau} e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S}}{\left\{ (P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right] - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\}^2} \right\} \Bigg|_{S=0}$$

Числитель можно преобразовать следующим образом:

$$(-) \left\{ (P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right] - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\}^2 [(P+1) \frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{(P+1)^2} -$$

$$- \frac{b^2 \bar{\tau}^2}{P} e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S}] - \left\{ (P+1) \left[2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + \frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{(P+1)^2} S \right] + \right.$$

$$+ b\bar{\tau} e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \left. \right\} 2 \left\{ (P+1) \left[1 + \left(\frac{m\bar{\tau}}{P+1} S \right)^2 \right] - P e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\} \times$$

$$\times \left\{ (P+1) \left[2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + 2 \frac{m^2 \bar{\tau}^2}{(P+1)^2} S \right] + b\bar{\tau} e^{-\frac{b\bar{\tau}}{P} S} \right\} \quad (27)$$

Произведя переход к пределу в формуле (26) $S \rightarrow 0$, получим:

$$-\left\{ [(P+1) - P]^2 \left[\frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{P+1} - \frac{b^2 \bar{\tau}^2}{P} \right] - [(P+1) \cdot 2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + b\bar{\tau}] \cdot \right.$$

$$\cdot 2 [(P+1) - P] \left[(P+1) 2 \frac{m\bar{\tau}}{P+1} + b\bar{\tau} \right] \left. \right\} =$$

$$= - \left\{ \frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{P+1} - \frac{b^2}{P} \bar{\tau}^2 - 2\bar{\tau}^2 \right\} = 2\bar{\tau}^2 + \frac{b^2}{P} \bar{\tau}^2 - \frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{P+1} \quad (28)$$

Знаменатель в выражении (26) после перехода к пределу принимает значение, равное единице. Подстановка (28) в (26) дает:

$$M_2 = 2\bar{\tau}^2 + \frac{b^2}{P} \bar{\tau}^2 - \frac{2m^2 \bar{\tau}^2}{P+1} \quad (29)$$

Закключение (Conclusion)

Получено уравнение кривой отклика комбинированной гидродинамической модели для аппарата фонтанирующего слоя с дополнительным вводом теплоносителя. Анализ дисперсии показал, что при условии не отрицательности рецикла при то есть при больших параметрах рециркуляции предложенная гидродинамическая модель переходит в модель идеального перемешивания, а при меньших значениях предложенная модель занимает промежуточное положение между моделями идеального вытеснения и идеального перемешивания. При, то есть модель ведет себя, как будто в системе имелась бы застойная зона, чего не имеется в классическом фонтанирующем слое, тем более в исследуемом аппарате.



ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Реутский В.А. Мухиддинов Д.Н., Шаисламов А.Ш. Устройство для термообработки комкующихся материалов. А.С. № 1105740 [СССР]. МКИ F 26 B 17/10. Б.и., 1984, №28.
2. Шаисламов А.Ш., Жураев Р.Р. Структура перемешивания дисперсного материала в аппарате фонтанирующего слоя с хордальным вводом теплоносителя. Сб. статей Международной научно –технической конференции: «Эффективная энергетика будущего: проблемы и решения». ФерПИ. 14-15декабря, 2023 года. Часть 1. Фергана. стр. 404-406.
3. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии.-М.:Химия, 1976,-463 с.

REFERENCES

1. Sazhin B.S., Reutskiy V.A., Mukhiddinov D.N., Shaislamov A.Sh. Device for heat treatment of lumping materials. A.S. No. 1105740 [USSR]. IPC F 26 B 17/10. B.i., 1984, No. 28.
2. Shaislamov A.Sh., Juraev R.R. Structure of mixing of dispersed material in a fountain bed apparatus with a chordal coolant input. Collection of articles of the International scientific and technical conference: "Efficient energy of the future: problems and solutions". FerPI. December 14-15, 2023. Part 1. Fergana. pp. 404-406.
3. Kafarov V.V. Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology. - M.: Chemistry, 1976, - 463 p.