ISSN 1999-4125 (Print)

ГЕОФИЗИКА
GEOPHYSICS

Научная статья

УДК 532.5
DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-4-12

УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ

Исмайлова Шахла Гаджибала кызы

Сумгаитский государственный университет

*для корреспонденции: shahla.ismayilova.71@mail.ru

Информация о статье
Поступила:
19 января 2023 г.

Одобрена после рецензирования:
15 февраля 2023 г.

Принята к публикации:
28 февраля 2023 г.

Опубликована:
30 марта 2023 г.

Ключевые слова:
Кинетическая энергия, полная энергия, макросистема, несущая фаза, несомая фаза, импульс, масса, межфазный переход, поверхностные силы, объемные силы.

Аннотация.
В теории двухфазных жидкостей мало проработаны вопросы, связанные с процессами непрерывного присоединения (или отсоединение) извне с жидкостью. Такие проблемы распространены в гидротехнике и системах управления водными ресурсами.
Изучение гидродинамических процессов, происходящих в одно- и двухфазных жидкостях с непрерывно меняющимся потоком представляет собой весьма сложный вопрос, поскольку изменение потока (массы) по ходу течения является одним из основных факторов, влияющих на движение двухфазной системы. Это необходимо учитывать при теоретическом исследовании двухфазных жидкостей и при решении практических задач. С этой точки зрения актуальными темами являются выводы уравнений движения двухфазных жидкостей, построение математических моделей, разработка критериев моделирования и методов отчетности.
Целью данной статьи является вывод уравнений энергии (кинетических, полных).
Для отражения процесса перехода энергии из одной формы в другую при транспорте среды было получено уравнение баланса полной энергии для двухфазной сплошной среды, полученное из закона сохранения энергии.

Для цитирования: Исмайлова Ш.Г. Уравнение баланса полной энергии двухфазной среды // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 4-12. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-4-12

При выводе уравнений неразрывности, динамики (импульса, момента) и энергии (кинетических, полных) непрерывно изменяющихся двухфазных жидкостей двухфазная (гетерогенная, неоднородная) жидкость рассматривается как сплошная среда (макросистема), состоящая из нескольких (не менее двух) фаз [13]. Считается, что рассматриваемая макросистема состоит из несущей (жидкой) и несомой (твердые частицы, капли) фазы, а ее расход предполагается непрерывно изменяющимся в зависимости от времени (т. отсоединение от него). Также считается, что межфазные переходы (фазовые переходы) существуют в макросреде. В зависимости от расположения фаз они могут быть непрерывными или дискретными. Для сглаживания дискретности (разрывов), которая может возникнуть при этом, считается, что расположение, форма и размеры дискретной фазы в пространстве случайны [3,4,7-10,14,15,16]. То есть вводится функция $\varphi_i(x,y,z,t)$, представляющая собой наличие фазы *i* в момент времени *t* вблизи заданной точки фазы *x,y,z* или заданной точки пространства *x,y,z*, принадлежащих множеству точек фазы *i* в момент времени *t*, предполагается, что существует возможность. С другой стороны, эта вероятность рассматривается как объемная концентрация фазы *i* данной точки пространства (то есть отношение размера множества точек, принадлежащих фазе *i*, вблизи наблюдаемой точки в момент времени *t* к размеру всех точек в окрестности) [3, 6].

Для вывода уравнений движения с учетом непрерывного изменения ее расхода в потока в двухфазном течении выберем объем *V(t)*, окруженный поверхностью *S(t)*, из макросреды и предположим, что он изменяется непрерывно во времени в результате присоединения (или отсоединение) концентрированной массы расхода среды. С учетом этого для формулировки уравнений баланса массы, импульса и энергии в течении двухфазного течения несущей и несомых фаз используются следующие специальные характеристики [1,2,5,11,12,13,14,16].

Предположим, что макросреда имеет объем *V* с массой *m* и имеет объемы $V_1, V_2, \ldots V_n \left(V = \sum_{i=1}^{n} V_i \right)$ и массы $m_1, m_2, \ldots m_n \left(m = \sum_{i=1}^{n} m_i \right)$, тогда

$$\varphi_i = V_i / V \quad . \tag{1}$$

Концентрация фазы *i* ($\varphi_i = \varphi_f = 1 - \varphi$ для несущей фазы, $\varphi_i = \varphi_s = \varphi$ для невесомой фазы, φ – объемная концентрация твердых частиц)

$$\rho_i = m_i / V_i \tag{2}$$

плотность фазы *i* ($\rho_i = \rho_f$ для несущей фазы, $\rho_i = \rho_s$ для невесомой фазы)

$$\rho = m / V \tag{3}$$

плотность среды ($\rho = \rho_f \varphi_f + \rho_s \varphi_s = \rho_f (1-\varphi) + \rho_s \varphi$)

Очевидно, что,

$$V = \sum_{i=1}^{n} V_i \,,\ \ m = \sum_{i=1}^{n} m_i \,,\ \ \rho = \sum_{i=1}^{n} \rho_i \varphi_i \,,\ \ \sum_{i=1}^{n} \varphi_i = 1 \quad . \tag{4}$$

Определим основные параметры среды [5]:

1) скорость всей двухфазной среды

$$\bar{c} = \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^{n} \rho_i \varphi_i \bar{c}_i \quad , \tag{5}$$

где $\bar{c}_i$ -вектор скорости фазы *i* (скорость несущей фазы будет $\bar{c}_i = \bar{c}_f$, а для несомой фазы $\bar{c}_i = \bar{c}_s$)

2) вектор массовых сил

$$\overline{F} = \sum_{i=1}^{n} \rho_i \varphi_i \overline{F}_i \quad , \tag{6}$$

где $\overline{F}_i$ вектор массовых сил *i*-й фазы ($\overline{F}_i = \overline{F}_f$ в несущей фазе, $\overline{F}_i = \overline{F}_s$ в несомой фазе, то $\overline{F} = \rho_f \varphi_f \overline{F}_f + \rho_s \varphi_s \overline{F}_s = \rho_f (1-\varphi) \overline{F}_f + \rho_s \varphi \overline{F}_s$)

3) Тензор поверхностных сил

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i \sigma_i \,,$$

где σ_i -тензор поверхностных сил *i*-й фазы ($\sigma_i = \sigma_f$ в несущей фазе, $\sigma_i = \sigma_s$ в несомой фазе, тогда $\sigma = \sigma_f \varphi_f + \sigma_s \varphi_s = (1-\varphi)\sigma_f + \varphi \sigma_s$).

Уравнение баланса кинетической энергии

Изменение кинетической энергии среды (скалярная мера механического движения) зависит как от внутренних, так и от внешних сил. Таким образом, он позволяет судить о рассеянии механической энергии за счет внутреннего трения.

Сформулируем теорему об изменении кинетической энергии в произвольном объеме *V(t)* непрерывно переменной среды следующим образом: «производная по времени кинетической энергии среды (фаз) с силами внешних и внутренних сил, а массы, присоединение (или отсоединение) в среду (фазы) и фазовые превращения за единое время, равны сумме кинетических энергий».

Рассмотрим несущую (жидкую) фазу в произвольном объеме *V(t)* в момент времени *t* и найти ее кинетическую энергию (скалярную величину),

$$T_f = \int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f(1-\varphi)dV = \int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f\varphi_f dV,$$

где ($c_f^2 / 2$ -кинетическая энергия единицы массы несущей (жидкой) фазы.

Изменение кинетической энергии несущей (жидкой) фазы в объеме *V(t)* примем в единицу времени

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f(1-\varphi)dV = \frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f\varphi_f dV\ . \tag{7}$$

Это изменение кинетической энергии представляет собой силу внешних (объемных, поверхностных и межфазных) и внутренних сил,

$$N = \int\limits_{V(t)} \rho_f(1-\varphi)\overline{F}_f\,\overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} (1-\varphi)\sigma_{fn}\overline{c}_f dS + \int\limits_{V(t)} N_f dV + \int\limits_{V(t)} N_{fin}dV =$$

$$= \int\limits_{V(t)} \rho_f\varphi_f\overline{F}_f\,\overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} \varphi_f\sigma_{fn}\overline{c}_f dS + \int\limits_{V(t)} N_f dV + \int\limits_{V(t)} N_{fin}dV$$

а также кинетические энергии присоединении (или отсоединении) массы с окружающей средой (фазой) и фазовых превращений

$$T_{*f} = \int\limits_{V(t)} \left[\frac{c_{*f}^2}{2}q_{*f} + \left(\frac{c_{sf}^2}{2}\chi_{sf} - \frac{c_{fs}^2}{2}\chi_{fs}\right)\right]dV = \int\limits_{V(t)} \left(\frac{c_{*f}^2}{2}q_{*f} - \frac{c_{\chi}^2}{2}\chi\right)dV.$$

Запишем уравнение баланса кинетической энергии несущей (жидкой) фазы в интегральном виде [5, 13]:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f(1-\varphi)dV &= \int\limits_{V(t)} \rho_f(1-\varphi)\overline{F}_f\,\overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} (1-\varphi)\sigma_{fn}\overline{c}_f dS \\ &+ \int\limits_{V(t)} N_f dV + \int\limits_{V(t)} N_{fin}dV + \int\limits_{V(t)} \left[\frac{c_{*f}^2}{2}q_{*f} + \left(\frac{c_{sf}^2}{2}\chi_{sf} - \frac{c_{fs}^2}{2}\chi_{fs}\right)\right]dV\end{aligned} \tag{8}$$

или

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)} \frac{c_f^2}{2}\rho_f\varphi_f dV &= \int\limits_{V(t)} \rho_f\varphi_f\overline{F}_f\,\overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} \varphi_f\sigma_{fn}\overline{c}_f dS + \\ &+ \int\limits_{V(t)} N_f dV + \int\limits_{V(t)} N_{fin}dV + \int\limits_{V(t)} \left(\frac{c_{*f}^2}{2}q_{*f} - \frac{c_{\chi}^2}{2}\chi\right)dV,\end{aligned} \tag{9}$$

где N_f , N_{fin} - удельные силы межфазных и внутренних сил, приложенных к несущей (жидкой) фазе.

Уравнение баланса кинетической энергии (дисперсной, смешанной) фазы получается в интегральном виде следующим образом

$$\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)}\frac{c_s^2}{2}\rho_s\varphi dV=\int\limits_{V(t)}\rho_s\varphi\overline{F}_s\overline{c}_s dV+\int\limits_{S(t)}\varphi\sigma_{sn}\overline{c}_s dS+\int\limits_{V(t)}N_s dV+$$
$$+\int\limits_{V(t)}N_{\sin}dV+\int\limits_{V(t)}\left[\frac{c_{*s}^2}{2}q_{*s}+\left(\frac{c_{fs}^2}{2}\chi_{fs}-\frac{c_{sf}^2}{2}\chi_{sf}\right)\right]dV \tag{10}$$

или

$$\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)}\frac{c_s^2}{2}\rho_s\varphi_s dV=\int\limits_{V(t)}\rho_s\varphi_s\overline{F}_s\overline{c}_s dV+\int\limits_{S(t)}\varphi_s\sigma_{sn}\overline{c}_s dS+$$
$$+\int\limits_{V(t)}N_s dV+\int\limits_{V(t)}N_{\sin}dV+\int\limits_{V(t)}\left[\frac{c_{*s}^2}{2}q_{*s}+\frac{c_\chi^2}{2}\chi\right]dV, \tag{11}$$

где N_s, $N_{\sin}$ - удельные величины межфазных и внутренних сил, приложенных к невесомой (дисперсной) фазе.

Просуммировав интегральные уравнения (8)-(11) кинетической энергии отдельных фаз, получим уравнение кинетической энергии для всего потока в двухфазном течении. После подходящих преобразований можем написать

$$\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)}\frac{c^2}{2}\rho dV=\int\limits_{V(t)}\rho\overline{F}\overline{c}dV+\int\limits_{S(t)}\sigma_n\overline{c}dS+\int\limits_{V(t)}N_{in}dV+\int\limits_{V(t)}\frac{c_*^2}{2}q_* dV \tag{12}$$

Это уравнение представляет собой уравнение баланса в интегральной форме кинетической энергии двухфазной жидкости, расход которой непрерывно изменяется (увеличивается или уменьшается).

Уравнение баланса полной энергии

Интересно, что в процессе транспортировки среды происходит переход энергии из одной формы в другую, что сообщается на основе уравнений баланса энергии, полученных из закона сохранения энергии.

Выразим закон сохранения энергии среды (фаз) в объеме *V(t)* следующим образом: «изменение суммы кинетической и внутренней энергий среды (фаз) в выбранном объеме *V(t)* есть сумма внешних (объемных, поверхностных и межфазных) сил, приложенных к этому объему, а его поверхность равна сумме кинетической и внутренней энергий сил (работы в единицу времени) и количества теплоты, подводимой от вне, которое присоединено (или отсоединено) от окружающей среды».

Рассмотрим объем *V(t)*, ограниченный поверхностью *S(t)* и находящейся в ней несущей (жидкой) фазой. Энергия этой фазы, отнесенная к единице объема, представляет собой сумму кинетической и внутренней энергий и записывается следующим образом

$$E_f=\rho_f(1-\varphi)\frac{c_f^2}{2}+\rho_f(1-\varphi)e_f=\rho_f\varphi_f\frac{c_f^2}{2}+\rho_f\varphi_f e_f,$$

где e_f -внутренняя энергия на единицу массы несущей фазы.

Тогда полная энергия несущей фазы в объеме *V(t)*.

$$E_f=\int\limits_{V(t)}\left(e_f+\frac{c_f^2}{2}\right)\rho_f(1-\varphi)dV=\int\limits_{V(t)}\left(e_f+\frac{c_f^2}{2}\right)\rho_f\varphi_f dV$$

Изменение полной энергии несущей (жидкой) фазы в выбранном объеме *V(t)* в единицу времени будет.

$$\frac{dE_f}{dt}=\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)}\left(e_f+\frac{c_f^2}{2}\right)\rho_f(1-\varphi)dV=\frac{d}{dt}\int\limits_{V(t)}\left(e_f+\frac{c_f^2}{2}\right)\rho_f\varphi_f dV \tag{13}$$

Это изменение энергии происходит за счет сил внешних (объемных, поверхностных и межфазных) сил, количества подведенного из вне тепла, энергий присоединении (или отсоединении) масс и фазовых превращений.

Объем несущей фазы, приложенный к поглощаемому объему и его поверхности, и прочность поверхностных и межфазных внешних сил рассчитываются как

$$N_f = \int\limits_{V(t)} \rho_f (1-\varphi)\overline{F}_f \cdot \overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} (1-\varphi)\sigma_{fn} \cdot \overline{c}_f dS + \int\limits_{V(t)} N_f dV = \\ = \int\limits_{V(t)} \rho_f \varphi_f \overline{F}_f \overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} \varphi_f \sigma_{fn} \cdot \overline{c}_f dS + \int\limits_{V(t)} N_f dV \qquad (14)$$

Рассчитаем теплоту, поступающую в несущую (жидкую) фазу. Пусть *S(t)* $\overline{q}_f^*$ -вектор удельного теплового потока из среды в несущую (жидкую) фазу через поверхность. Тогда *S(t)* есть полное количество теплоты, подведенной к этой фазе поверхностью

$$Q_f = \int\limits_{S(t)} (1-\varphi)\overline{q}^*_{fn} dS = \int\limits_{S(t)} \varphi_f \overline{q}^*_{fn} dS \qquad (15)$$

будет. Здесь $\overline{q}^*_{fin} = \overline{q}^*_f \overline{n}$ -проекция $\overline{q}^*_{fin}$-вектора на нормаль *n*, проведенную к поверхности *dS*.

Теплота, отдаваемая частицами, находящимися в объеме *V(t)*, несущей фазе, определяется межфазным теплообменом [3]

$$Q_f^* = \int\limits_{V(t)} Q dV \ , \qquad (16)$$

где Q^* -теплота, полученная несущей фазой от несомой фазы в единице объема.

В результате взаимного механического воздействия между фазами выделяется выделяемое при трении тепло, часть которого забирается несущей фазой. Количество этого тепла в объеме *V(t)*

$$Q_{cf}^* = \int\limits_{V(t)} Q^*{}_{cf} dV \ , \qquad (17)$$

где Q_{cf}^* -количество теплоты, полученное несущей фазой от теплоты, выделившейся за счет взаимного механического воздействия фаз.

Теперь определим энергию масс, присоединяющихся (или отсоединяющихся к несущей (жидкой) фазе и фазовых превращений. Обозначим e_f^* -удельную внутреннюю энергию массы присоединения (или отсоединения) несущей фазы, а удельную внутреннюю энергию, массы фазовых переходов через e_χ. Тогда мы можем написать

$$E_{*f} = \int\limits_{V(t)} \left[\left(e_{*f} + \frac{c_{*f}^2}{2} \right) q_{*f} + \left(e_{sf} + \frac{c_{sf}^2}{2} \right) \chi_{sf} - \left(e_{fs} + \frac{c_{fs}^2}{2} \right) \chi_{fs} \right] dV = \\ = \int\limits_{V(t)} \left[\left(e_{*f} + \frac{c_{*f}^2}{2} \right) q_{*f} - \left(e_\chi + \frac{c_\chi^2}{2} \right) \chi \right] dV \ . \qquad (18)$$

Приравняем выражение (13) к сумме (14)-(18) и запишем уравнение баланса закона сохранения энергии для несущей (жидкой) фазы в интегральном виде:

$$\frac{d}{dt} \int\limits_{V(t)} \left(e_f + \frac{c_f^2}{2} \right) \rho_f (1-\varphi) dV = \int\limits_{V(t)} \rho_f (1-\varphi) \overline{F}_f \overline{c}_f dV + \int\limits_{S(t)} (1-\varphi) \sigma_{fn} \overline{c}_f dS + \\ + \int\limits_{V(t)} N_f dV + \int\limits_{V(t)} (1-\varphi) \overline{q}^*_{fn} dV + \int\limits_{V(t)} Q^* dV + \int\limits_{V(t)} Q^*_{cf} dV + \\ + \int\limits_{V(t)} \left[\left(e_{*f} + \frac{c_{*f}^2}{2} \right) q_{*f} + \left(e_{sf} + \frac{c_{sf}^2}{2} \right) \chi_{sf} - \left(e_{fs} + \frac{c_{fs}^2}{2} \right) \chi_{fs} \right] dV \qquad (19)$$

или

$$\frac{d}{dt}\int_{V(t)}\left(e_f+\frac{c_f^2}{2}\right)\rho_f\varphi_f dV=\int_{V(t)}\rho_f\varphi_f\overline{F}_f\cdot\overline{c}dV+\int_{S(t)}\varphi_f\sigma_{fn}\cdot\overline{c}_f dS+$$
$$+\int_{V(t)}N_f dV+\int_{S(t)}\varphi_f\overline{q}^*_{fn}dS+\int_{V(t)}Q^*dV+\int_{V(t)}Q^*_{cf}dV+ \tag{20}$$
$$+\int_{V(t)}\left[\left(e_{*f}+\frac{c_{*f}^2}{2}\right)q_{*f}-\left(e_\chi+\frac{c_\chi^2}{2}\right)\chi\right]dV\ .$$

Аналогично получаем уравнение баланса закона сохранения энергии для невесомой фазы двухфазной жидкости в интегральном виде следующим образом [5, 6, 13]:

$$\frac{d}{dt}\int_{V(t)}\left(e_s+\frac{c_s^2}{2}\right)\rho_s\varphi dV=\int_{V(t)}\rho_s\varphi\overline{F}_s\overline{c}_s dV+\int_{S(t)}\varphi\sigma_{sn}\overline{c}_s dS+\int_{V(t)}N_s dV+$$
$$+\int_{S(t)}\varphi\overline{q}^*_{sn}dS-\int_{V(t)}Q^*dV+\int_{V(t)}Q^*_{cs}dV+\int_{V(t)}\left(e_{*s}+\frac{c_{*s}^2}{2}\right)q_{*s}dV+ \tag{21}$$
$$+\int_{V(t)}\left[\left(e_{fs}+\frac{c_{fs}^2}{2}\right)\chi_{fs}-\left(e_{sf}+\frac{c_{sf}^2}{2}\right)\chi_{sf}\right]dV$$

или

$$\frac{d}{dt}\int_{V(t)}\left(e_s+\frac{c_s^2}{2}\right)\rho_s\varphi_s dV=\int_{V(t)}\rho_s\varphi_s\overline{F}_s\overline{c}_s dV+\int_{S(t)}\varphi_s\sigma_{sn}\overline{c}_s dS+$$
$$+\int_{V(t)}N_s dV+\int_{S(t)}\varphi_s\overline{q}^*_{sn}dS-\int_{V(t)}Q^*dV+\int_{V(t)}Q^*_{cs}dV+ \tag{22}$$
$$+\int_{V(t)}\left(e_{*s}+\frac{c_{*s}^2}{2}\right)q_{*s}dV+\int_{V(t)}\left(e_\chi+\frac{c_\chi^2}{2}\right)\chi dV\ .$$

Получим уравнение полной энергии всей двухфазной среды, просуммировав уравнения полной энергии, полученные для фаз. Поэтому, собрав уравнения (21)-(22), можно записать уравнение баланса полной энергии для всей среды в интегральном виде

$$\frac{d}{dt}\int_{V(t)}\left(e+\frac{c^2}{2}\right)\rho dV=\int_{V(t)}\overline{F}\overline{c}\rho dV+\int_{S(t)}\sigma_n\overline{c}dS+\int_{S(t)}\overline{q}^*_n dS+\int_{V(t)}\left(e_{*f}+\frac{c_{*f}^2}{2}\right)q_* dV,$$

где e – удельная внутренняя энергия среды, $e=\rho_f\varphi_f e_f+\rho_s\varphi_s e_s$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидов К.З., Эргашев Б.Т. Пульсирующее движение вязких смесей в трубах с переменной концентрацией. Материалы VII международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях 25-31 мая 2010 г., Алушта, РАН, МАИ-ПРИНТ, М., 2010. – с. 86-88.
2. Баринов В. А., Бутакова Н. Н. Волны на свободной поверхности двухфазной среды // РАН, Прикл. мех. и техн. физ. 2002. Т.43. №4.с.1-9.
3. Дейч М.Е., Филлипов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. - М.: Энергоиздат, 1981.- с. 472
4. Ибад-заде Ю.А. Движение наносов в открытых руслах. М., Стройиздат, 1974, 352 с.
5. Исмайлова Ш.Г.,Гаджиева Г.Ф. ГахрамановП.Ф.,ИсмайловР.Ш., Основные уравнения гидромеханики сплошных гетерогенных сред с переменной массой. Механика композиционных материалов и конструкций. Сборник трудов IV-го Всероссийского симпозиума, том 1, РАН-ИПМ, Москва 2012, с.165-173.
6. Исмайлова Ш.Г. Математические модели движения двухфазных сред в технологических устройствах. Сумгаитский государственный университет, Научные новости, том 14, №2, Сумгаит-2014, с.64-72.
7. Исмайлов Р.Ш.,Исмайлова Ш.Г., Джумалыева И.Дж. Вопросы гидродинамики макросред с

тепломассообменом. Journal of Qafqaz University. Mechanikal and İndustrial engineering, Volume 3, Number 2, 2015, pag.141-148.

8. Исмайлов Р.Ш., Мамедов Г.А., Исмайлова Ш.Г., Джумалыева И.Дж. Математические модели механики двухфазных систем с тепломассообменом. «Интеллектуальные технологии в машиностроении» Международная научно-техническая конференция, Аз.ТУ-2016, с. 460-465.

9. Исмайлов Р.Ш., Мамедов Г.А., Исмайлова Ш.Г., Джумалыева И.Дж.Теоретические основы механики многофазных сред с учетами внешнего тепломассообмена. «Интеллектуальные технологии в машиностроении» Международная научно-техническая конференция, Аз.ТУ-2016, с. 472 - 476.

10. Исмайлов Р.Ш.,Исмайлова Ш.Г., Джумалыева И.Дж. Модели гидромеханики двухфазных сплошных сред с тепломассообменом. Азербайджанский Технический Университет, Научные труды, том 1, №3, Баку-2016, стр. 146-156.

11. Исмаилова Ш.Х. Основные уравнения двухфазной механики макросреды. Сумгаитский государственный университет, Научные новости, том 17, №2, Сумгаит-2014, стр. 77-80.

12. Исмаилова Ш.Х. Динамические уравнения двухфазных систем. Проблемы применения математики и новые информационные технологии. Материалы III Республиканской научной конференции. Сумгаитский государственный университет – 2016, стр. 165-166.

13. Исмаилов Р.Ш., Гаджиев Ч.Ч., Исмаилова (Мамедова) Ш.Х. Уравнения движения многофазных жидкостей с массообменом. "Современные проблемы эффективного и комплексного использования водных ресурсов", Азербайджанский научно-исследовательский институт водных проблем, Баку-2000, стр. 104-108.

14. Мамедов Г.А., Исмайлов Р.Ш., Исмайлова Ш.Г., Джумалыева И.Дж. Феноменологические уравнения гидромеханики двухфазных потоков с непрерывным изменением массы. Известия высших технических учебных заведений Азербайджана, том19, №6, 2017, стр.55-65.

15. Прозорова Э.В. Влияние дисперсии в неравновесной механике сплошной среды. Материалы VII международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях 25-31 мая 2010 г., Алушта, РАН, МАИ-ПРИНТ, М., 2010. – с. 139-141.

16. Gahramanov P.F., Ismailov R.SH., Ismailova Sh.H. Basic motion equations and of conditions larity of two-phase media with external heat mass transfer. NASA, Proseedings of Institute of Mathematics and mechanics, Volume XXX(XXXVIII), Baku – 2009, p. 177 - 184.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Исмайлова Шахла Гаджибала кызы, старший преподаватель, Сумгаитский государственный университет, (AZ5008, Азербайджан, г.Сумгаит, 43-й квартал, улица Баку 1), e-mail: shahla.ismayilova.71@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Исмайлова Шахла Гаджибала кызы – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

GEOPHYSICS

Original article

TOTAL ENERGY BALANCE EQUATION OF A TWO-PHASE MEDIUM

Shahla H. Ismailova

Sumgayit State University

*for correspondence: shahla.ismayilova.71@mail.ru

Article info
Received:
19 January 2023

Accepted for publication:
15 February 2023

Accepted:
28 February 2023

Published:
30 March 2023

Keywords: *Kinetic energy, total energy, macrosystem, carrier phase, carrier phase, momentum, mass, interfacial transition, surface forces, body forces*

Abstract.
In the theory of two-phase liquids, issues related to the processes of continuous addition (or detachment) from the outside with a liquid have been little worked out. Such problems are common in hydraulic engineering and water management systems.
The study of hydrodynamic processes occurring in one- and two-phase fluids with a continuously changing flow is a very complex issue, since the change in the flow (mass) along the flow is one of the main factors affecting the motion of a two-phase system. This must be taken into account in the theoretical study of two-phase liquids and in solving practical problems. From this point of view, relevant topics are the derivation of the equations of motion of two-phase fluids, the construction of mathematical models, the development of modeling criteria and reporting methods.
The purpose of this article is to derive the energy equations (kinetic, total).
To reflect the process of energy transition from one form to another during the transport of a medium, the total energy balance equation for a two-phase continuous medium was obtained, obtained from the law of conservation of energy.

For citation: Ismailova S.H. Total energy balance equation of a two-phase medium. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):4-12. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-4-12

REFERENCES

1. Abidov K.Z., Ergashev B.T. Pulsating movement of viscous mixtures in pipes with variable concentration. Proceedings of the VII International Conference on Non-Equilibrium Processes in Nozzles and Jets May 25-31, 2010, Alushta, RAS, MAI-PRINT, M., 2010. - p. 86-88.

2. V. A. Barinov and N. N. Butakova, “Waves on the free surface of a two-phase medium,” Russian Academy of Sciences, Prikl. fur. and tech. physical 2002. V.43. No. 4.p.1-9.

3. Deich M.E., Filipov G.A. Gas dynamics of two-phase media. - M.: Energoizdat, 1981.- p. 472

4. Ibad-zade Yu.A. Movement of sediments in open channels. M., Stroyizdat, 1974, 352 p.

5. Ismailova Sh.G., Gadzhieva G.F. Gakhramanov P.F., Ismailov R.Sh., Basic equations of hydromechanics of continuous heterogeneous media with variable mass. Mechanics of composite materials and structures. Proceedings of the IV All-Russian Symposium, volume 1, RAN-IPM, Moscow 2012, pp.165-173.

6. Ismailova Sh.G. Mathematical models of motion of two-phase media in technological devices. Sumgayit State University, Scientific News, Volume 14, No. 2, Sumgait-2014, pp. 64-72.

7. Ismailov R.Sh., Ismailova Sh.G., Dzhumalyeva I.J. Questions of hydrodynamics of macromedia with heat and mass transfer. Journal of Qafqaz University. Mechanikal and industrial engineering, Volume 3, Number 2, 2015, pag.141-148.

8. Ismailov R.Sh., Mamedov G.A., Ismailova Sh.G., Dzhumalyeva I.J. Mathematical models of the mechanics of two-phase systems with heat and mass transfer. "Intelligent technologies in machine building" International scientific and technical conference, Az.TU-2016, p. 460-465.

9. Ismailov R.Sh., Mamedov G.A., Ismailova Sh.G., Dzhumalyeva I.J. Theoretical foundations of the mechanics of multiphase media taking into account external heat and mass transfer. . "Intelligent technologies in machine building" International scientific and technical conference, Az.TU-2016, p 472 - 476.

10. Ismailov R.Sh., Ismailova Sh.G., Dzhumalyeva I.J. Models of hydromechanics of two-phase continuous media

with heat and mass transfer. Azerbaijan Technical University, Scientific Works, volume 1, No. 3, Baku-2016, p. 146-156.

11. Ismailova Sh.Kh. Basic Equations of Two-Phase Mechanics of Macromedia. Sumgayit State University, Scientific News, Volume 17, No. 2, Sumgayit-2014, pp. 77-80.

12. Ismailova Sh.Kh. Dynamic equations of two-phase systems. Problems of application of mathematics and new information technologies. Materials of the III Republican scientific conference. Sumgayit State University - 2016, pp. 165-166.

13. Ismailov R.Sh., Gadzhiev Ch.Ch., Ismailova (Mamedova) Sh.Kh. Equations of motion of multiphase fluids with mass transfer. "Modern problems of efficient and integrated use of water resources", Azerbaijan Research Institute of Water Problems, Baku-2000, pp. 104-108.

14. Mamedov G.A., Ismailov R.Sh., Ismailova Sh.G., Dzhumalyeva I.J. Phenomenological Equations of Hydromechanics of Two-Phase Flows with Continuous Mass Change. News of higher technical educational institutions of Azerbaijan, volume 19, No. 6, 2017, pp. 55-65.

15. Prozorova E.V. Effect of dispersion in nonequilibrium continuum mechanics. Proceedings of the VII International Conference on Non-Equilibrium Processes in Nozzles and Jets May 25-31, 2010, Alushta, RAS, MAI-PRINT, M., 2010. - p. 139-141.

16. Gahramanov P.F., Ismailov R.SH., Ismailova Sh.N. Basic motion equations and conditions of two-phase media with external heat mass transfer. NASA, Proseedings of Institute of Mathematics and Mechanics, Volume XXX(XXXVIII), Baku – 2009, p. 177 - 184.

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Shahla H. Ismailova, senior lecturer, Sumgayit State University, (AZ5008, Azerbaijan Sumgayit city, 43 rd quarter, Baku street 1), e-mail: shahla.ismayilova.71@mail.ru

Contribution of the authors:

Shahla H. Ismailova– formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.