

## EXERGY ECONOMIC OPTIMIZATION OF GEOTHERMAL COGENERATION PLANT

*V. Kozyrsky, L. Martyniuk, T. Rezakova*

**Annotation.** *The presented fundamentals of eksergoeconomical optimization. The presented technical and economic characteristics of the geothermal cogeneration plant. Eksergoekonomical factors identified these settings.*

**Key words:** *optimization criterion, eksergoeconomical factor, geothermal energy system, cogeneration installation*

УДК 532 (075.8)

## МЕХАНИКА ОДИНОКОЙ СФЕРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

*Б. Х. Драганов, доктор технических наук  
Национальный университет биоресурсов  
и природопользования Украины*

*А. А. Вергезова, студентка  
Национальная академия изобразительного искусства  
и архитектуры  
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

**Аннотация.** *Приведена математическая модель многокомпонентных сред. Выполнен анализ гетерогенных сред. Определена интенсивность обмена энергией между фазами. Изложены основы определения сил, действующих на одинокую сферу.*

**Ключевые слова:** *гетерогенная среда, межкомпонентная среда, инерционный эффект, интенсивность обмена импульсом, эффект Магнуса*

Объект исследования состоит из двух сфер: большой (внешней) и меньшей (внутренней). Между двумя сферами находится вода и воздух, которые попадают туда через трехкомпонентные краны. Конструкция этих пробок будет обеспечивать необходимое количество жидкости и кислорода для поддержания внутренней сферы на плаву и оптимального уровня кислорода для жизни человека. Устройство будет изготовлено из прочного, прозрачного, тонкого материала, который способен выдерживать большие значения внешней нагрузки.

Установка работает следующим образом. Когда людям станет известно о возникающем цунами, один или несколько человек, в

---

© Б. Х. Драганов, А. А. Вергезова, 2016

зависимости от размера внутренней сферы, через соответствующие входное отверстие входят внутрь сферы, которая плотно закрывается. Поток, обусловленный цунами, перемещает устройство до безопасного места на земной поверхности, где люди могут выйти из этой сферы.

В статье приведены закономерности движения одинокой сферы под действием действующих сил.

**Цель исследований** – определить силы, действующие на одинокую сферу (большого размера или в виде дисперсных частиц) при обмывании потоком жидкости.

**Результаты исследований.** Морскую волну, настилающуюся по поверхности Земли, следует рассматривать как поток разной интенсивности, характеризующийся неустойчивостью, связанной с флуктуациями различного рода. Данный поток следует рассматривать как гетерогенную среду, состоящую из дисперсных смесей с каплями жидкости и с твердыми частицами.

$$\frac{\partial \bar{\rho}_i}{\partial t} + \nabla \bar{\rho}_i v_i = \sum_{j=1}^N J_{ji} ; \quad (1)$$

$$\bar{\rho}_i \frac{\partial v_i}{\partial t} = -\beta_i \nabla p + \nabla^k \tau_i^k + \bar{\rho}_i g_i + \sum_{j=1}^N \left[ F_{ji} + J_{ji} (v_{ij} - v_i) \right] ; \quad (2)$$

$$\bar{\rho}_i \frac{\partial u_i}{\partial t} = \frac{\beta_i p}{\rho_i} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^N \left[ F_{ji} (v_{ij} - v_i) + J_{ji} \frac{(v_{ij} - v_i)^2}{2} + J_{ji} (u_{ij} - u_i) + Q_{ji} \right] + \tau_i^{kl} e_i^{kl} - \nabla^k q_i^k \quad (3)$$

$$p_1(\rho_1, T_1) = p_2(\rho_2, T_2) = \dots = p_N(\rho_N, T_N) ; \quad (4)$$

$$u_i = u_i(\rho_i, T_i) ;$$

$$\sum_{i=1}^N \beta_i = 1, \quad \rho_i = \frac{\bar{\rho}_i}{\beta_i} ; \quad (5)$$

$$J_{ji} = -J_{ij}$$

$$F_{ji} = -F_{ij}$$

$$v_{ji} = v_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{i-1} \left[ Q_{ji} + Q_{ij} + J_{ji} (h_{ji} - h_{ij}) \right] = 0 ; \quad (6)$$

$$h_{ji} = u_{ji} + \frac{p}{\rho_i}; i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i. \quad (7)$$

Выполним анализ основных физических параметров, входящих в систему уравнений (1) – (3).

Интенсивность обмена импульсом между компонентами выражается отношением

$$P_{ji} = -P_{ij} = R_{ji} + J_{ji}v_{ji}; i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i. \quad (8)$$

В этой формуле  $R_{ji}$  – межкомпонентная (межфазная) сила, отнесенная к единице объема смеси и обусловленная силами трения, давления, сцепления между компонентами. Так как фазовые превращения имеют место на границе между фазами (компонентами), то величину  $v_{ji}$  следует рассматривать как скорость  $i$ -й фазы на границе с  $j$ -й фазой. В гетерогенных системах с вязкими жидкостями на межфазовых границах отсутствуют скачки скорости и поэтому  $v_{ij} = v_{ji}$ . В таком случае

$$R_{ji} = -R_{ij}. \quad (9)$$

Интенсивность обмена энергией между фазами представляется в виде уравнения

$$E_{ji} = W_{ji} + Q_{ji} + J_{ji} \left( u_{ji} + \frac{1}{2} v_{ji}^2 \right). \quad (10)$$

При этом  $E_{ji} = -E_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i$ ).

В этом уравнении первый член выражает приток энергии в  $i$ -ю фазу за счет работы  $W_{ji}$  межфазных (межкомпонентных) сил, а именно: трения, давления, взаимного сцепления и др.; второй член уравнения – приток энергии за счет теплообмена  $Q_{ji}$  на границе фаз. Последний член уравнения выражает перенос внутренней  $u_{ji}$  и кинетической  $\frac{1}{2} v_{ji}^2$  энергий вместе с переносом массы из одной фазы в другую. Внутренняя энергия на межфазной границе терпит разрыв

В уравнениях (1) – (12) приняты обозначения:

$\rho_i$  – истинная плотность  $i$ -го компонента, равная массе  $i$ -го компонента в единице объема  $i$ -го компонента, кг/м<sup>3</sup>;

$\bar{\rho}_i$  – приведенная плотность  $i$ -го компонента, равная массе данного компонента в единице объема смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$T$  – время, с;

$v$  – вектор массовой скорости, м/с;

$J_{ji}$  – интенсивность фазовых переходов или переносы массы в единице объема смеси из  $j$ -ой фазы в  $i$ -ю, кг/(м<sup>3</sup>·с);

$\beta_i$  – объемная концентрация  $i$ -ой фазы;

$\tau_i^{kl}$  – тензор сдвиговых напряжений, кг/(м·с);

$V_{ji}$  – скорость массы, претерпевающей фазовый переход, м/с;

$g$  – ускорение внешних массовых сил, в частности свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$F_{ji}$  – работа межфазных сил, кг/(м<sup>2</sup>·с<sup>2</sup>);

$u$  – внутренняя энергия, м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;

$p$  – давление, кг/(м·с<sup>2</sup>);

$Q_{ji}$  – интенсивность передачи тепла от  $j$ -ой фазы к  $i$ -ой фазе в единице объема смеси, кг/(м·с<sup>3</sup>);

$q^k$  – вектор потока тепла  $k$ -ой фазе, кг/с<sup>3</sup>;

$e_i^{kl}$  – тензор скоростей деформации;

$h$  – энтальпия, м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;

$P_{ji}$  – интенсивность обмена импульсом между  $j$ -ой и  $i$ -ой фазами;

$R_{ji}$  – полная межфазная сила со стороны  $j$ -ой фазы на  $i$ -ю и отнесенная к единице объема смеси, кг/(м<sup>2</sup>·с<sup>2</sup>);

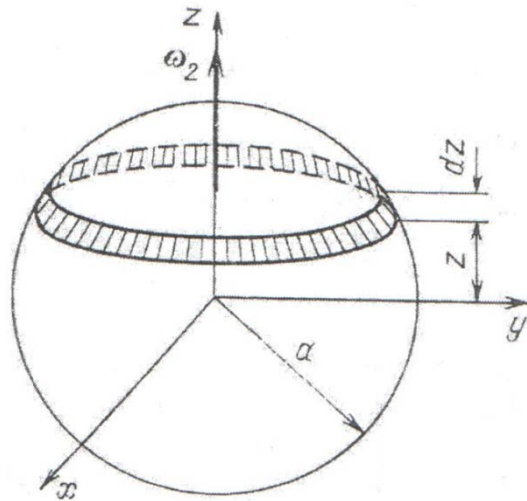
$W_{ji}$  – работа межфазных сил  $i$ -ой фазы на межфазной границе с  $j$ -ой фазой, отнесенная к единице объема смеси, кг/(м·с<sup>3</sup>);

$E_{ji}$  – интенсивность обмена энергией между  $j$ -ой и  $i$ -ой фазами в единице объема смеси в единицу объема времени, кг/(м·с<sup>3</sup>);

$x$  – пространственная декартова координата, м.

Индексы:  $i$  – номер фазы ( $i = 0, 1, 2, \dots, N$ );  $j$  – то же, что  $i$ ;  $k, l$  – номер декартовой координаты ( $k, l = 1, 2, 3$ ).

Рассмотрим основные эффекты, возникающие при обтекании одиночной сферы бесконечным потоком жидкости. Эти эффекты, конечно, сохраняются и в дисперсных смесях, а в смесях с малой объемной концентрацией дисперсной фазы  $\alpha_2$  количественно описываются формулами, полученными для обтекания одиночной сферы (см. рисунок).



### Схема плоских сечений для вращающейся вокруг оси z сферы

Влияние вращения сферы на силу  $f$ , действующую на нее со стороны обтекаемого потока, проявляется за счет совместного действия вязких и инерционных сил. При анализе в рамках идеальной жидкости вращение обтекаемой сферы не может передаться несущей жидкости без вязкости, а при анализе в рамках ползущего (стоксового) течения влияние вращения на силу  $f$  не проявляется при полном неучете инерционных эффектов.

Для того, чтобы выявить влияние вращения на силу  $f$ , вдали от сферы учитывались нелинейные инерционные члены. Методом сращиваемых асимптотических разложений указанное внешнее решение «сращивалось» с внутренним (около сферы) стоксовым решением в результате чего получена следующая формула:

$$f = f_S + f_\omega, \quad (13)$$

где  $f_S$  – продольная стоксовая сила;

$f_\omega$  – поперечная сила из-за вращения сферы, которая иногда называется силой Магнуса.

Рассмотрим другой режим с вращением сферы, когда можно использовать модель идеальной жидкости. При этом в работе М. А. Гольдштика [5] для случая перпендикулярности оси вращения и скорости обтекания предложено использовать гипотезу плоских сечений и схему плоского потенциального обтекания круга с циркуляцией, когда предполагается, что в каждом плоском сечении, перпендикулярном к оси вращения  $z$  (рис. 1), распределение скоростей такое же, как при плоском потенциальном обтекании круга радиусом  $r = \sqrt{a^2 - z^2}$  с циркуляцией  $\Gamma(z) = 2\pi r^2(z)\omega_2$ , где  $\omega_2$  – круговая скорость.

### Выводы

Экспериментальное исследование механики одинокой сферы при обтекании потоком жидкости представляет собой непростую задачу. Математическое моделирование позволяет с достаточной степенью точности определить силы, действующие на сферу и скорость ее движения.

### Список литературы

1. Рахматуллин Х. А. Основы газовой динамики взаимопроникающих сплошных сред / Х. А. Рахматуллин // ПММ. – 1956. – Т. 30, № 2.
2. Драганов Б. Х. К исследованию динамики взаимопроникающих движений многокомпонентных сред / Б. Х. Драганов // Труды III конференции по теплообмену и гидравлическому сопротивлению. – 1967. – С. 51–54.
3. Нигматуллин Р. И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. / Р. И. Нигматуллин. – М. : Наука, 1987. – 464 с.
4. Долинский А. А. Гидродинамика техногенных выбросов в окружающую среду : монография / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // К. : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2015. – 104 с.
5. Гольдшик М. А. Процессы переноса в зернистом слое / М. А. Гольдшик // Новосибирск : ИТФ, 1984. – 163 с.

## МЕХАНІКА ОДИНОКОЇ СФЕРИ ПРИ ДІЇ ПОТОКУ РІДИНИ

**Б. Х. Драганов, А. А. Вергезова**

**Анотація.** *Наведено математичну модель багатоконпонентного середовища. Виконано аналіз гетерогенних середовищ. Визначено інтенсивність обміну енергією між фазами. Викладено основи визначення діючих сил на сферу.*

**Ключові слова:** *гетерогенне середовище, міжкомпонентне середовище, інерційний ефект, інтенсивність обміну імпульсом, ефект Магнуса*

## MECHANICS OF LONELY AREA AT FLUID FLOW

**B. Draganov, A. Verhezova**

**Annotation.** *Presented the mathematical model multi dimensional environment. The analysis of heterogeneous environments. Determined the intensity of energy exchange between the phases. Bases determination of the forces on the field.*

**Key words:** *heterogeneous environment, between the component environment, inertial effect, exchange intensity impulse, Magnus effect*