

У. К. Абдалиев, Ы. Ташполотов, А. Ы. Ысламидинов

Институт природных ресурсов
Южного отделения Национальной академии наук
Киргизской Республики, г. Ош

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДО-ПУЗЫРЬКОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

Получено термодинамическое уравнение, свидетельствующее о возникновении разности давления в тонких прослойках из-за разности концентрации атомов и молекул газа в жидкости на границе раздела. При мгновенном исчезновении этой границы раздела фаз происходит выравнивание значений поверхностной энергии и, как следствие, выделяется избыточная, свободная энергия в виде тепла. Установлено, что выделенная тепловая энергия почти в 2 раза больше, чем электроэнергия, затраченная на создание кавитационного движения воды. Полученную в виде тепла избыточную энергию можно использовать для отопления зданий и сооружений, поскольку она является ресурсо- и энергосберегающей, экологически чистой технологией.

Ключевые слова: термодинамика, водо-пузырьковая смесь, кавитация, энергосберегающая технология, отопление, энергосберегающее отопление, экологическая технология.



Бөлiмнiң шекарасында газ бен сұйықтың атомдары мен молекулаларының жинақталу айырмашылығына байланысты жиңiшке қабатшаларда қысым айырмашылықтарының пайда болуын көрсететiн термодинамикалық теңдеу алынған. Фаза бөлiгiнiң осы шекараның бiр сәтте жоғалып кетуiнен беттiк энергияның түзетiлуi жүрiп, нәтижесiнде жылу түрiндегi артық бос энергия бөлiнедi. Зерттеу нәтижесi бойынша бөлiнген жылу энергиясының судың кавитациялық қозғалысын жасауға жұмсалған электроэнергияға қарағанда 2 есе артық деген қортынды жасалған. Жылу түрiнде алынған артық энергияны ғимараттарды жылытуға пайдалануға болады, себебi ол ресурс - және энергоүнемдеушi, және сондай-ақ экологиялық таза технология болып табылады.

Түйінді сөздер: термодинамика, сулы-көбіршікті қоспасы, кавитация, энергoүнемдеуші жылу, экологиялық технология.



Having received a thermodynamic equation showing because of difference in concentrations of atoms and molecules of gas and liquid at the pressure difference in thin interlayer. At instantaneous disappearance of this phase boundary occurs alignment values of the surface energy and the resulting excess free energy is released as heat. By results of researches made conclusion that emitted thermal energy, about 2 times more than the electricity consumed by the creation of cavitations and the resulting movement of water in the form of heat excess energy can be used for heating buildings.

Key words: thermodynamics, heat, water-bubble mixture, cavitation, energy saving technology, heating, energy saving heating, ecological technology.

Введение. Известно, что при изучении границы раздела фаз в соответствии с тремя состояниями вещества (твердое, жидкое и газообразное) необходимо рассматривать следующие типы поверхности раздела: "газ - жидкость", "газ - твердое тело", "жидкость - жидкость", "жидкость - твердое тело" и "твердое тело - твердое тело". При этом граница раздела фаз представляет собой не просто геометрическую поверхность, а промежуточную фазу, имеющую определенную толщину, с избыточной свободной энергией, которая связана с силами, участвующими в формировании границы раздела. Атомы или молекулы в межфазной области находятся в непрерывном движении. Во всех случаях они поступают в эту область и покидают ее с высокими скоростями, так что время их пребывания в ней очень мало (Н-Р, порядка 10^{-6} с для молекул на поверхности жидкости) [1]. Толщина промежуточной фазы в типичных случаях составляет 1-10 нм. Необходимым условием стабильного существования поверхности раздела между двумя фазами дисперсных систем является положительное значение свободной энергии образования поверхности раздела.

Согласно данным работы [2] стабильность дисперсных систем, в частности растворов, может нарушаться при достижении определенных предельных концентраций, когда стабильное термодинамическое равновесие переходит в метастабильное.

В результате возникает новая фаза, т.е. происходит диспергирование одного вещества в другом. Таким образом, область стабильности, например раствора, определяется термодинамическими критериями. При термодинамическом анализе межфазная граница может рассматриваться как открытая или в определенных случаях как закрытая система.

Методы исследования. Рассмотрим замкнутую плоскую поверхность раздела постоянного состава с тангенциальным натяжением в качестве интенсивной переменной.

Для рассматриваемой системы первый закон термодинамики может быть записан в виде:

$$dU = TdS - PdV + \gamma dA, \quad (1)$$

где γdA – увеличение энергии системы, выраженное в джоулях, как и термодинамическая работа $p dV$;

γ – межфазное натяжение.

Для свободной энергии F в дифференциальной форме имеем:

$$dF = dU - TdS - SdT \quad (2)$$

Подставив уравнение (1) в (2), получим

$$dF = -SdT - PdV + \gamma dA \quad (3)$$

Из (3) имеем:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial A} \right)_{T,V} = \gamma \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_{V,A} = -S \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_{T,A} = -P \quad (6)$$

Для свободной энергии Гиббса ($G = H - TS = U + PV - TS$) дифференцируя, получим

$$dG=dU+pdV+Vdp-TdS-SdT \quad (7)$$

Тогда из (7) получим:

$$\left(\frac{dG}{dA}\right)_{T,P} = \gamma \quad (8)$$

$$\left(\frac{dG}{dT}\right)_{P,A} = -S \quad (9)$$

$$\left(\frac{dG}{dP}\right)_{T,A} = V \quad (10)$$

Если промежуточная фаза открытая с переменным составом, то обозначив химический потенциал и число молей i -го компонента как μ_i и n_i соответственно, можно записать

$$dU=TdS-pdV+ \gamma dA+ \sum_i \mu_i dn_i \quad (11)$$

Соответственно для энтальпии H , свободной энергии F и свободной энергии Гиббса G можно получить:

$$dH=dU+pdV+Vdp =TdS+Vdp+ \gamma dA+ \sum_i \mu_i dn_i \quad (12)$$

$$dF=dU-TdS-SdT =-SdT-pdV+ \gamma dA+ \sum_i \mu_i dn_i \quad (13)$$

$$dG=dH-TdS-SdT =-SdT+Vdp+ \gamma dA+ \sum_i \mu_i dn_i \quad (14)$$

Из соотношений (12)-(14) для химического потенциала получим:

$$\mu_i = \left(\frac{dU}{dn_i}\right)_{T,S,V,A} \quad (15)$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{n, S, P, A} \quad (16)$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial F}{\partial n_i} \right)_{n, T, V, A} \quad (17)$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{n, T, P, A} \quad (18)$$

Интегрируя уравнения (15)-(18) при постоянных значениях интенсивных параметров, получим

$$U = TS - pV + \gamma A + \sum_i \mu_i n_i \quad (19)$$

$$H = TS + \gamma A + \sum_i \mu_i n_i \quad (20)$$

$$F = -pV + \gamma A + \sum_i \mu_i n_i \quad (21)$$

$$G = \gamma A + \sum_i \mu_i n_i \quad (22)$$

Полученные уравнения (11)-(14) применимы только для плоской поверхности. В случае малых сферических капель введение дополнительного количества вещества в каплю должно приводить к изменениям величины A . Соответствующие изменения объема могут быть записаны в виде:

$$dV = \sum_i v_i dn_i \quad (23)$$

где v_i – парциальный мольный объем i -компонента жидкости.

Объем и поверхность капли определяются соотношениями $\frac{4}{3}\pi r^3$ и $4\pi r^2$ соответственно. Потому

$$dA=2dV r = \sum_i (2v_i \gamma / r) dn_i \quad (24)$$

Совместное решение уравнений (14) и (24) дает

$$dG=-SdT+Vdp+ \sum_i (2v_i \gamma / r + \mu_i) dn_i \quad (25)$$

Химический потенциал i -го компонента в капле μ'_i тогда будет равен

$$\mu'_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{n_j, T, P} = 2v_i \gamma / r + \mu_i \quad (26)$$

$$\mu' - \mu_i = 2v_i \gamma / r \quad (27)$$

Таким образом, величины химического потенциала для плоской и искривленной поверхностей могут быть записаны в виде:

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln p_i \quad \text{и} \quad \mu'_i = \mu_i^0 + RT \ln p'_i \quad (28)$$

где p_i – давление пара над плоской поверхностью;
 p'_i – давление над искривленной поверхностью.

Постановка этих соотношений в уравнение (27) дает

$$\ln \left(\frac{p'_i}{p_i} \right) = 2v_i \gamma / rRT \quad (29)$$

Если вместо капли жидкости в паровой фазе мы рассмотрим пузырек пара в жидкости (двухкомпонентная система), где радиус кривизны принимается отрицательным, то (29) примет вид:

$$\ln \left(\frac{p'_i}{p_i} \right) = -2v_i \gamma / rRT \quad (30)$$

Обозначив $\frac{2\sigma_i}{r} = a_i$, из (27) получим

$$\mu'_i = \mu_i + \gamma_i a_i \quad (31)$$

С другой стороны,

$$\mu'_i = \mu_i + RT \ln X \quad (32)$$

где X_i – атомные доли, индексы a и b относятся к объему пузырька и поверхности жидкой фазы соответственно.

Решая совместно уравнения (31) и (32), получим

$$\gamma_i^a = \gamma_1 a + RT \ln X_1^a - RT \ln X_1^b \quad (33)$$

$$\gamma_i^a = \gamma_2 a + RT \ln X_2^b - RT \ln X_2^b \quad (34)$$

$$\frac{X_2^b}{X_1^b} = \frac{X_2^b}{X_1^b} e^{\frac{(n-r)a}{RT}} \quad (35)$$

Результаты и обсуждение. Последнее уравнение (35) показывает, что в приповерхностном тонком слое между двумя фазами конденсируются компоненты с небольшим поверхностным натяжением. Из-за разности концентраций атомов и молекул газа и жидкости на их границе раздела возникает разность давления в тонких прослойках. Толщины таких слоев и прослойки определяются радиусом действия молекулярно-поверхностных или электроповерхностных сил и структура жидкости на границе фаз отлична от объемной. При возможном мгновенном исчезновении этой границы раздела фаз происходит выравнивание значений поверхностной энергии и, как следствие, выделяется избыточная свободная энергия в виде тепла.

В лаборатории получить такие условия можно путем создания водо-пузырьковой гетерогенной смеси. Такую смесь получили в сосуде емкостью 500 мл, термостатируемой термостатом. Температура воды в термостате фиксируется термометром и регулируется при помощи контактного термометра. Вода подается из емкости путем регулирования расхода с помощью вентиля. В дальнейшем для получения водо-пузырьковой смеси использовали следующую связку: водяной насос выкачивает воды

через отверстия малого сечения сопла Лавалья. Вследствие изменения давления жидкости в сопле Лавалья происходит образование пузырьков, т.е. получается водо-пузырьковая смесь. Далее смесь попадает в гидроударную камеру большего сечения, где водо-пузырьковая струя направляется под углом на твердую стенку в цилиндрической ёмкости реактора. В цилиндрической ёмкости реактора формируется также вихревое течение, в котором дополнительно образуются кавитационные пузырьки [3], а те, что сформировались в кавитационной камере (сопло Лавалья) "схлопываются" и делятся на более мелкие пузырьки, которые далее "схлопываются".

Как известно, вода несжимаема, но она очень хорошо сжимаема, с образованием пузырьков, которые затем обратно сжимаются, и вследствие ускорения возникает высокое давление. При этом молекулы жидкостей, по-видимому, соединяются, формируя объёмные кластерные структуры. В результате разрушения этих кластерных структур термодинамические и физико-химические характеристики воды изменяются. Поэтому благодаря гидродинамическому кавитационному воздействию водо-пузырьковая смесь превращается в "гетерогенную суспензию" с измененными термодинамическим свойствами. Эти изменения происходят в момент захлопывания пузырьков около твердой стенки реактора. Под действием разности давлений, действующих на кавитационные пузырьки, они ускоряются, приобретают дополнительно и кинетическую энергию. Величина приобретенной кинетической энергии (энергия удара о поверхность) оказывается достаточной для разрыва связи между молекулярными кластерами. В результате в локальной области вещества в момент исчезновения кавитационного пузырька (захлопывания) происходит выделение большого количества энергии. Энергия, выделяющаяся в зоне "схлопывания", преобразуется в тепло в объеме жидкости.

Дискуссия. Основанием для объяснения этих процессов могут быть вихревые теплогенераторы [4], в которых поток воды в вихре разгоняется до больших скоростей, вследствие чего давление в воде становится значительно ниже атмосферного, и в результате образуются кавитационные пузырьки. Далее этот поток тормозится механической преградой, давление в воде рез-

ко повышается, и кавитационные пузырьки захлопываются. При этом выделенная тепловая энергия приблизительно в 2 раза больше, чем электроэнергия, затраченная на создание вихревого и кавитационного движения воды.

Могут возникнуть некоторые вопросы, в частности, что при прохождении воды с помощью водяного насоса через отверстие малого сечения сопла Лавалья и гидроударную камеру большего сечения (где водо-пузырьковая струя направляется под углом на твердую стенку в цилиндрической ёмкости реактора) возникает шумовой эффект. Для использования подобного устройства в техническом подвале жилого дома следует выполнить шумоизоляцию данного технологического процесса, что потребует дополнительных экономических затрат. Однако эксперимент подтвердил, что в исследованиях не замечены никакие шумовые эффекты. Если даже и возникают такие эффекты, они незначительны, поэтому нет необходимости создавать шумоизолирующие устройства. Безусловно, следует учесть тепловые и линейные потери во время подачи воды потребителям, а также климатические условия местности, где будет устанавливаться данное устройство, так как в наиболее холодную пятидневку зимнего периода отопления подающая вода для систем отопления в северных регионах должна составлять 110 °С и при необходимости надо создавать перепад давления и урегулировать температуру.

Еще один важный дискуссионный момент. Согласно последним научным исследованиям свойств воды в результате разрушения кластерных структур при термодинамических и физико-химических воздействиях характеристики воды изменяются. И эти изменения не дают положительных результатов. Свойство воды во многих случаях не восстанавливается. И при многократном использовании данного деления тепловой эффект может угасать. Соответственно нет гарантии выделения постоянной температуры данного устройства при использовании в системах отопления, что черевато последствиями особенно в зимний период, когда отопление зданий происходит в пиковом режиме.

Можно констатировать, что действительно в процессе разрушения кластеров воды отдельные физико-химические параметры изменяются, но незначительно. Поскольку, как известно, у водородной связи сравнительно низкая прочность, которая в

5-10 раз слабее химической ковалентной связи. Энергия водородной связи составляет 5-10 ккал/моль, в то время как энергия ковалентной связи – 109 ккал/моль. То есть водородная связь в жидком состоянии относительно слаба и неустойчива: она может легко возникать и исчезать в результате тепловых флуктуаций. Но водородная связь обладает другим важным свойством - кооперативностью взаимодействия, когда одна молекула воды в конденсированном состоянии способна образовывать водородные связи с четырьмя молекулами воды. Однако время релаксации при комнатной температуре составляет 10^{-11} с, а время одного колебания молекулы воды значительно меньше – 10^{-13} с. Поэтому каждая молекула воды совершает около 100 колебаний относительно одного и того же положения равновесия, прежде чем сменит свое место. Отсюда можно сделать вывод, что те изменения, которые происходят в процессе разрушения "мгновенных" кластеров, незначительно воздействуют на изменения физико-химических свойств воды. В данном случае рассматриваются термодинамические свойства воды при кавитации.

Выводы

Выделенную в виде тепла избыточную свободную энергию раздела фаз водо-пузырьковой смеси в гидродинамической кавитационной установке можно использовать для отопления зданий и сооружений, поскольку данная технология является ресурсо- и энергосберегающей, а также экологически чистой технологией.

Литература

- 1 *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей: пер. с англ. - М.: Мир, 1979. – 568 с.
- 2 *Дерягин Б.В.* Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. – М.: Наука, 1986. – 206 с.
- 3 *Кнэпп Р., Дэйли Дж., Хэммит Ф.* Кавитация: пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 687 с.
- 4 *Потапов Ю. С., Фоминский Л. П.* Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиции теории движения. – Кишинев-Черкассы: "ОКО-Плюс", 2000. – 160 с.