

**ЕЩЕ РАЗ ОБ ОСНОВНОМ ЗАКОНЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО
ФАЗООБРАЗОВАНИЯ**

С. В. ПОЛОЖИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Главным в отзывах ИТМО АН БССР и ИТФ СО АН СССР по заявке на предполагаемое открытие основного закона адиабатического фазообразования (ОЗ АФ) является отрицание новизны открытия этого закона. В отзыве ИТМО отрицание ОЗ АФ осуществляется посредством подмены сущности закона АФ, кинетики и основных положений известностью явлений фазовых преобразований, наличием $S-t$ и $i-t$ диаграмм водяного пара для определения конечного результата процесса адиабатического фазообразования. В отзыве ИТФ отрицается новизна ОЗ АФ под видом недоказанности его в работе путем произвольных манипуляций с математическим обоснованием этого закона в работе. Таким методом отрицается главное положение ОЗ АФ: одновременность протекания двух взаимоположенных процессов — адиабатического парообразования и адиабатической конденсации без теплообмена между жидкой и паровой фазой по мере сброса давления двухфазной системы.

Открытие основного закона адиабатического фазообразования, изложенное в опубликованных работах в заявке ОТ-7343 [1, 2], приводит к совершенно новым понятиям и представлениям о физической сущности и кинетике адиабатического фазообразования, дает новые количественные и качественные характеристики АФ по сравнению с современным состоянием этого вопроса в мировой практике. Впервые широко используемые процессы в технике (расширение насыщенного и влажного пара, истечение нагретой воды и др.) открыты как единый процесс адиабатического фазообразования, конечный фазообразующий эффект которого определяется только исходным состоянием системы: насыщенная вода, пар или двухфазное состояние.

Принципиально новым неизвестным ранее явлением оказывается одновременность протекания двух взаимоположенных процессов: адиабатического парообразования и адиабатической конденсации, независимо от начального состояния системы — насыщенная вода, пар или их смеси в различных соотношениях с одинаковой степенью интенсивности и в равных количествах при изоэнтропическом сбросе давления на весовую единицу исходной фазы. Другим, неизвестным ранее свойством процесса адиабатического фазообразования является представление о побудителях изменения агрегатного состояния при изоэн-

тропическом сбросе давления насыщенного пара, воды или их смеси, исключаящих теплообмен между фазами и рост одной фазы за счет другой, разность температур между паровой и жидкой фазами в процессе адиабатического фазообразования; а также независимость изменения агрегатного состояния каждой фазы по мере сброса давления системы; одинаковая степень интенсивности парообразования и конденсации и в равных количествах на одну и ту же весовую единицу жидкости и пара, обусловленными физическим и термодинамическими свойствами H_2O .

Впервые в мире дается объяснение физической сущности $S-i$ диаграммы H_2O как равновесного состояния, полученного в результате действия основного закона адиабатического фазообразования для адиабатической системы. В результате действия ОЗ АФ при сбросе давления насыщенного или влажного пара при $1 > X_0 > 0,5$ происходит по конечному результату при изоэнтропическом сбросе давления адиабатическая конденсация, при изоэнтропическом сбросе давления насыщенной воды или влажного пара при $1 > Y_0 > 0,5$ происходит адиабатическое парообразование. Непрерывное и независимое протекание двух противоположных процессов при изоэнтропическом сбросе давления двухфазной системы $X_0 = Y_0 = 0,5$ не приводит к видимому изменению фазообразующего эффекта при любой величине сброса давления — изменение одной фазы полностью компенсируется изменением другой фазы $\Delta P = \Delta K, \Delta X = \Delta Y, \Delta \Phi_n = 0$ — изоэнтропа равного фазообразования.

Впервые четко устанавливаются и обобщаются количественные и качественные зависимости и побудители процесса при адиабатическом фазообразовании (начальное состояние системы, величина, интервал и характер сброса давления), фазообразующий эффект в конце процесса, кинетическая энергия и дисперсирование потока; а также дана качественная характеристика дисперсности потока как одного из важнейших свойств адиабатического фазообразования и, в частности, невозможность роста капелек жидкости при расширении влажного пара в сопле, микродисперсная структура потока на выходе из сопел как следствие действия ОЗ АФ: одновременного протекания АК и АП с одинаковой степенью интенсивности.

Открытие кинетики и физической сущности адиабатического фазообразования коренным образом меняет сложившиеся в мировой практике представления об этих свойствах АФ. Полностью отвергаются современные представления о процессах расширения влажного пара, истечения нагретой воды, физической сущности и кинетики этих процессов. Неверным оказывается понятие об односторонней направленности конденсации влажного пара в соплах паровых турбин как непрерывного процесса роста жидкой фазы, роста отдельных капелек жидкости по мере расширения влажного пара. Исключается понятие теплообмена между фазами при расширении влажного пара, рост капелек жидкости за счет передачи тепла от жидкости пару в этом процессе, являющимся основой современной кинетики расширения влажного пара в соплах паровых турбин [3, 4, 5]. Ошибочными оказываются представления о наличии разности температуры между капельками жидкости и паром при его расширении, о более высокой температуре капелек, чем пара, введенные для определения роста капелек жидкости по уравнениям теплообмена. Несостоятельными оказываются современные представления об инверсии агрегатного состояния при расширении влажного пара, теоретически обосновывающие одностороннюю направленность процесса конденсации на базе теплообмена между фазами и наличия разности температур между жидкостью и паром. Непригодными оказываются теоретические построения для оценки качественных и количественных

характеристик при расширении влажного пара и истечении нагретой воды, трактовка этих процессов в научно-технической литературе в нашей стране и за рубежом. Впервые вскрываются причины такого неудовлетворительного состояния в науке и практике использования адиабатического фазообразования во всех странах в течение многих десятков лет [1, 2]. Впервые также в мировой практике вскрывается ошибочность методики экспериментальных и теоретических исследований потерь от влажности в паровых турбинах, физических представлений о кинетике этого процесса в соплах паровых турбин, физической модели и механизма потерь от влажности, о дисперсности и структуре потока, математического аппарата и зависимостей для расчета потерь от влажности, количественных и качественных характеристик двухфазного потока в соплах паровых турбин. В этом заключается мировая новизна открытия основного закона адиабатического фазообразования, важное значение его для научных и практических целей, для решения задач, связанных с проблемой повышения эффективности влажнопаровых турбин и внедрения адиабатического фазообразования в энергетику [6, 7].

Другим принципиально важным моментом является открытие адиабатического фазообразования как естественного процесса природы. В отзыве ИТФ СО АН приводятся соображения по непризнанию АФ как естественного процесса природы. В качестве первой аргументации выдвигается положение неприменимости для всех веществ природы равенства $S'_0 - S'_1 = S''_0 - S''_1$, «которое может быть использовано для узкого круга веществ и не может по этой причине трактоваться как закономерность, справедливая для всех веществ, встречающихся в природе».

Несоответствие этого закона в полной мере для всех веществ в природе не снимает свойств и основных положений процесса АФ для H_2O , они объективны независимо от других веществ, они характеризуют конкретное вещество природы, и отрицать по этой причине ОЗ АФ для H_2O невозможно. Законы природы объективны и конкретны. Например, явление магнетизма, его свойства и закономерности присущи для одних металлов и непригодны для других металлов и веществ природы.

ОЗ АФ открыт и отражает процесс адиабатического фазообразования для H_2O в виде насыщенного пара, воды и двухфазного состояния: насыщенная вода — пар. Он не применим для всех веществ природы, имеющих различные свойства и строение.

Природа располагает огромными источниками высокосжатой нагретой воды и насыщенного пара, при выходе которых на поверхность осуществляется естественный процесс адиабатического фазообразования с проявлением основного закона и свойств этого процесса — образование новой фазы, кинетической энергии потока и дисперсности жидкой фазы. Другой мотивировкой непризнания адиабатического фазообразования как естественного процесса природы в отзыве ИТФ является ссылка на отсутствие изоэнтропического процесса в природе, для которого приводится формулировка и теоретическое обоснование основного закона АФ. В технических установках и в естественных условиях адиабатическое фазообразование протекает только с определенным приближением к изоэнтропическому процессу. Это положение также не может служить аргументацией для отрицания этого явления природы.

Отклонение процесса АФ от изоэнтропического в технических установках или в естественных условиях приводит к изменению энергетического и фазообразующего эффекта, но не меняет физической сущности процесса АФ. Эти отклонения поддаются расчету и всегда могут быть учтены. Открытие ОЗ АФ позволило впервые расшифровать физическую сущность гейзера или парового «фонтана» как процесса адиабатического

фазообразования — адиабатического парообразования или адиабатической конденсации, а также определить фазовое состояние глубинного источника этого явления природы. В этом отношении открытие ОЗ АФ и открытие АФ в естественных условиях имеет не только познавательное значение, но и практическое — для определения фазовой и энергетической характеристики подземных источников АФ. По фазообразующему эффекту гейзеров (скважин), кинетической энергии потока и давлению подземного источника можно определить фазовое состояние и удельный энергетический потенциал источника.

Формулировка ОЗ АФ для изоэнтропического процесса АФ H_2O с большой степенью приближения отвечает действительным процессам при расширении влажного пара в соплах паровых турбин и особенно в специально спроектированных лабораторных установках и позволяет учесть предельную степень совершенства этого процесса природы, а также теоретически обосновать физическую сущность и кинетику адиабатического фазообразования.

ИТМО АН БССР также встал на позицию непризнания новизны открытия ОЗ АФ, подменяя сущность этого закона известностью явлений фазовых преобразований при адиабатическом изменении состояния воды, пара или их смеси (использование этого процесса в теплоэнергетике при расширении влажного пара в паровых турбинах, при получении пара из продувочной воды, для опреснения морской воды, сушки растворов и т. п.), а также наличием $S-t$ и $S-i$ диаграмм для водяного пара и курсов технической термодинамики, изданных за последнее десятилетие. Такое непризнание ОЗ АФ, его новизны является или преднамеренным искажением материалов исследований ТПИ, или несерьезным отношением к рассмотрению этого вопроса.

В курсах технической термодинамики отсутствует представление не только об ОЗ АФ, но и о самом процессе адиабатического фазообразования как специфического явления. Больше того, в курсах технической термодинамики разработана теоретическая база современного неправильного представления об этих явлениях, приводятся теоретические доказательства образования только одной фазы в этом процессе, теплообмена между фазами, наличия разности температур между паровой и жидкой фазой — всего того, что отрицается ОЗ АФ. В тепловых диаграммах, рассматриваемых в курсах технической термодинамики, процесс адиабатического фазообразования описывается только как односторонний процесс: или только конденсации при сбросе давления насыщенного пара (правая часть $S-t$ диаграммы), или только парообразование при сбросе давления насыщенной воды на всем пути от начального до конечного состояния. С этой же целью в современной термодинамике введено понятие и теоретические доказательства «инверсии» агрегатного состояния: образование только одной фазы — или жидкости, или пара.

Другой особенностью отрицания ОЗ АФ и его обоснования является использование некорректных методов и приемов в заключениях ИТМО и ИТФ. В отзыве ИТМО АН БССР было объявлено об ошибочности одной из основных формул, по которой определяется конечный фазообразующий эффект при изоэнтропическом сбросе давления насыщенного пара (I). Вместо этой формулы (I).

$$Y_2 = \frac{(S_2'' - S_1'') \cdot T_{n_2}}{r_2} \quad (I)$$

после ряда математических выкладок предложена в отзыве другая формула, якобы более точная и правильная

$$Y_2 = (1 - X_2) = \frac{(S'_2 - S'_1) \cdot T_{n2}}{r_2} + \left(1 - \frac{r_1 \cdot T_{n2}}{T_{n1} \cdot r_2}\right). \quad (II)$$

Однако парадоксальным оказалось то, что эта новая формула (II) дает те же результаты, что и формула (I). Как та, так и другая формула правильно и точно описывают процесс в конечном состоянии АФ.

В отзыве ИТФ СО АН СССР для опровержения теоретических доказательств ОЗ АФ в заявке, физической сущности и кинетики АФ из комплекса взаимосвязанных формул (1), (2), (3), (4) —

$$(X_0 - \Delta Y) + (Y_0 - \Delta X) = 1 \quad (1); \quad \Delta X = \frac{(S'_0 - S'_1) \cdot T_{n1}}{r_1} \cdot Y_0 \quad (2);$$

$$\Delta Y = \frac{(S''_0 - S''_1) \cdot T_{n1}}{r_1} \cdot X_0 \quad (3); \quad X_1 + Y_1 = 1 \quad (4)$$

произвольно выбросили формулы (2) и (3), описывающие приращение новой фазы при изоэнтропическом расширении влажного пара. Сопоставляя затем формулы (1) и (4) и приняв в основу современную схему процесса АФ как процесса, при котором прирост одной фазы происходит за счет уменьшения другой фазы, выразили изменение фаз через начальное и конечное статическое состояние системы $\Delta Y = Y_1 - Y_0$, $\Delta X = X_1 - X_0$. Учитывая, что для любого состояния влажного пара в равновесных условиях $Y_1 + X_1 = 1$, пришли к заключению, что при расширении влажного пара всегда приращение одной фазы равно убыли другой фазы $\Delta X = -\Delta Y$ (происходит или только конденсация пара, или только парообразование) и на этом основании объявили ошибочным и недоказанным одновременное протекание двух противоположных процессов — одного из главных положений ОЗ АФ. Формулы (1) и (4) без зависимостей (2) и (3) не характеризуют процесс (кинетику) адиабатического фазообразования. Они отражают термодинамическое состояние влажного пара для двух любых произвольных состояний точек $S-t$ диаграммы, независимо от того, каким путем пришли в эти термодинамические состояния в диаграмме. В процессах фазовых переходов с теплообменом с внешней средой и статическим положением системы, определяемым постоянным давлением, происходит ординарный процесс образования одной фазы за счет другой $\Delta X = -\Delta Y$ до полного преобразования одной фазы в другую. В изолированной системе без теплообмена с внешней средой при сбросе давления системы, например, расширении влажного пара в турбинах, невозможно образование одной фазы за счет другой, передача тепла от одной фазы к другой, так как эти процессы оказываются при такой схеме не связанными с переходом части энергии системы в кинетическую энергию потока. При такой схеме нарушается энергетический баланс системы: убыль тепла одной фазы полностью воспринимается другой фазой и нарушается первый закон термодинамики и закон соответственного состояния системы. Поэтому по такой «теории» при изоэнтропическом сбросе давления влажного пара совершенно необъясним различный фазообразующий эффект при изменении начального состояния системы от $X_0 = 1$ до $X_0 = 0$ при одной и той же величине сброса давления ΔP и неизменных термодинамических и физических параметров жидкой и паровой фазы — $P_0, t_0, i'_0, i''_0, S'_0, S''_0, r_0, C'_0, C''_0, \sigma_0$.

Неправомерным является отрицание справедливости равенства $S'_0 - S'_1 = S''_0 - S''_1$, при изоэнтропическом сбросе давления насыщенного или влажного пара, которое положено в основу теоретического доказательства ОЗ АФ. Это отрицание в отзыве ИТФ СО АН постро-

но на предположении наличия теплообмена между фазами посредством замены количества передаваемого тепла от одной фазы к другой через энтропию на определение этого тепла через теплоемкость $TdS' = C'dT$ и $TdS'' = C''dT$ для элементарного изменения температуры насыщения. Тогда равенство $dS' = dS''$ возможно лишь при равенстве теплоемкости насыщенной жидкости C' и насыщенного пара C'' , которые для одного и того же давления не могут быть равны. Такое доказательство было бы справедливо, если бы в действительности существовал теплообмен между фазами в процессе АФ.

Энергетическая эффективность адиабатического фазообразования при неизменной величине и интервале изоэнтропического сброса давления так же, как и фазообразующий эффект, всецело определяется начальным соотношением жидкой и паровой фазы. Кинетическая энергия потока является суммарным результатом образования кинетической энергии каждой фазы (табл. 1). Теплопадение при сбросе давления паровой фазы при ее конденсации

Таблица 1

Начальная влажность	Y_0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
Начальная сухость	X_0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0
Кинетическая энергия адиабатического парообразования	H_y	0,0	7,45	22,4	37,3	52,2	67,1	$74,5 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$
Кинетическая энергия конденсации паровой фазы	H_x	247,6	223	173	123,7	74,0	24,7	0,0
Полное теплопадение адиабатического фазообразования	$H_{\text{АФ}}$	247,6	230,45	196,6	161	136,2	91,86	$74,5 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$
Конечная влажность	Y_1	0,326	0,361	0,43	0,5	0,57	0,639	0,674
Конечная степень сухости пара	X_1	0,674	0,639	0,57	0,5	0,53	0,361	0,326

$$H_x = \{i''_0 - [i''_1 + (S''_0 - S''_1) \cdot T_{\text{нт}}]\} \cdot X_0.$$

Теплопадение жидкой фазы при ее испарении

$$H_y = \{i'_0 - [i'_1 + (S'_0 - S'_1) \cdot T_{\text{нт}}]\} \cdot Y_0.$$

Результирующее теплопадение адиабатического фазообразования составляет $H_{\text{АФ}} = H_x + H_y$. При этом неизменными остаются все термодинамические и физические параметры и характеристики паровой и жидкой фазы

$$p_0, p_1, \Delta p; t_0, t_1, \Delta t; i'_0, i'_1, i''_0, i''_1; S'_0, S'_1, S''_0, S''_1; C'_0, C''_0, C'_1, C''_1.$$

Признание основного закона адиабатического фазообразования необходимо для коренных изменений в исследованиях газодинамики двухфазных сред, теории влажнопаровых турбин [3, 4, 5] и в других случаях, где используется или проявляется адиабатическое фазообразование.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Положий. К вопросу о кинетике процесса конденсации в турбинной ступени. Изв. ТПИ. Т. 137, 1965.

2. С. В. Положий. Адиабатическое фазообразование. Информац. бюллетень ТПИ по проблеме перевода ТЭС на адиабатическое фазообразование, 1969, № 4. Гос. регистр. № 70002200. Микрофильм, М., 1970.

3. М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов. Газодинамика двухфазных сред. М., «Энергия», 1968.

4. И. И. Кириллов, Р. М. Яблоник. Основы теории влажнопаровых турбин. Л., «Машиностроение», 1968.

5. М. Д. Вайсман. Термодинамика парожидкостных потоков», М., «Энергия», 1967.

6. С. В. Положий. Обзор исследований ТПИ по паротурбинным установкам с адиабатическим фазообразованием. Вопросы перевода ТЭС на АФ. Информац. бюллетень ТПИ по пробл. перевода ТЭС на АФ, 1970, № 5. Гос. регистр. № 70013070. Микрофильм, М., 1970.

7. С. В. Положий. К вопросу о методике экспериментальных исследований потерь от влажности в паровых турбинах. «Известия ТПИ», т. 205, 1972.
