

Модификация уравнения состояния Нигматулина-Болотновой для случая высокоскоростного сжатия пара тетрадекана

Топорков Д.Ю.

ИММ - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань

Исследования газодинамических процессов, сопровождающихся сильным сжатием кавитационных полостей в тяжелых углеводородных жидкостях, имеют высокую важность как для науки, так и для приложений. Для проведения таких исследований необходимы достаточно простые уравнения состояния, описывающие поведение термодинамических параметров в широком диапазоне изменения давлений и температур с учетом тепломассообмена между жидкой и газовой фазами в околокритических состояниях, а также в условиях сверхвысоких давлений и температур, включая диссоциацию и ионизацию. В работе [1] подобные широкодиапазонные уравнения состояния предложены для бензола и тетрадекана. Они описывают изменения термодинамических параметров молекулярных фаз жидкости и газа при давлениях до 1000 бар и плотностях, в 1.5 раза превышающих невозмущенную плотность жидкости. Данные уравнения состояния соответствуют поведению вещества на линии насыщения в окрестности критической точки, а в области низких плотностей и давлений переходят в уравнения состояния совершенного газа. Их можно использовать при наличии процессов диссоциации и ионизации при сверхсильных сжатиях (с плотностями до 10 раз превосходящими невозмущенную плотность жидкости) и сверхвысоких температурах (до 10^8 К).

Вместе с тем, при температурах ниже 663 К предложенные в [1] уравнения состояния тетрадекана перестают физически непротиворечиво описывать изменение термодинамических параметров, реализующихся в метастабильной области при высокоскоростном адиабатическом сжатии пара. И это было одной из причин того, что исследование коллапса кавитационного пузырька в тетрадекане проводилось в работах [2-4] только при температуре 663 К.

В настоящей работе предложена простая физически обоснованная модификация уравнений состояния Нигматулина-Болотновой

[1] в метастабильной области, которая физически непротиворечиво описывает в этой области высокоскоростное адиабатическое сжатие пара тетрадекана в том диапазоне начальных температур, где немодифицированное уравнение [1] не дает такого описания. Важно отметить, что предлагаемая модификация практически не проявляется как в начале сжатия пара в метастабильной области, так и в области больших давлений за критической зоной. Ее основное влияние фактически ограничено лишь той частью метастабильной области, где уравнения состояния [1] дают нефизичную картину адиабатического сжатия пара.

Предлагаемая модификация позволяет исследовать сильное высокоскоростное сжатие пара, например, при коллапсе кавитационного пузырька. Предложенный способ модификации можно использовать и для аналогичной коррекции других уравнений состояния, построенных на основе обобщенного потенциала Борна-Майера.

Список литературы:

- [1] Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонные уравнения состояния бензола и тетрадекана в упрощенной форме // Теплофизика высоких температур. 2017. Т. 55. № 2. С. 206–215.
- [2] Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Топорков Д.Ю. Возможность реализации сверхсжатия кавитационного пузырька в тетрадекане // Докл. АН. 2018. Т. 481. № 6. С. 46-50.
- [3] Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Экстремальная фокусировка энергии при ударном сжатии парового пузырька в углеводородных жидкостях // Теплофизика высоких температур. 2019. Т. 57. № 2. С. 253–261.
- [4] Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Топорков Д.Ю. Зависимость сжатия пара в кавитационных пузырьках в тетрадекане от давления жидкости // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26. № 6. С. 931-940.