



Рис. 9. Сопоставление результатов расчета температур CO_2 и H_2O и давления CO_2 по длине испарителя (кривая) с экспериментом авторов (точки)

испарении после разрушения жидкой пленки наступает дисперсный режим (зона в), в котором в результате повышения температуры пара испаряются капли. На выходе из испарителя температура CO_2 приближается к температуре воды. Снижение равновесной температуры жидкой фазы (капель) T_{s,CO_2} в испарителе объясняется падением давления диоксида углерода в результате гидравлического сопротивления.

Понижение температуры CO_2 на входе в испаритель качественно не меняет картину распределения температур по длине (рис. 8). Для исследованных расходов воды и CO_2 качественное изменение распределения температур по длине наблюдается при более высоких значениях температуры CO_2 на входе в испаритель (рис. 9). При температуре CO_2 на входе выше 0°C на выходе из испарителя разность температур между среднемассовыми температурами пара CO_2 и воды будет значительной. Это объясняется двумя факторами:

- более ранним разрушением жидкой пленки из-за снижения коэффициентов динамической вязкости и поверхностного натяжения с ростом температуры;
- уменьшением размера капель вследствие снижения коэффициента поверхностного натяжения.

Увеличение удельной поверхности капель способствует более интенсивному отводу тепла от нагретого пара.

На рис. 9 также показан график изменения давления CO_2 по длине испарителя. Меньшему значению давления соответствует меньшая равновесная температура жидкой фазы диоксида углерода.

* * *

Таким образом,

✓ в работе впервые представлены результаты экспериментального и теоретического исследования испарителя теплового насоса, работающего на ди-

оксиде углерода. Эксперименты проведены в широкой области температур при массовой скорости CO_2 , соответствующей режимам работы реального испарителя. Исследованные тепловые нагрузки перекрывают диапазон, изученный в других работах.

✓ Показано, что существующие в литературе корреляции для расчета коэффициента теплоотдачи кипящего диоксида углерода в трубах не согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Впервые создана теоретическая модель кипения диоксида углерода в трубах во всем диапазоне массового паросодержания. В модели учитываются режимы пузырькового, пленочного кипения и дисперсный режим испарения капель, наступающий после разрушения жидкой пленки. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными авторов.

✓ По результатам проведенного исследования разработана методика расчета коэффициента теплоотдачи со стороны кипящего CO_2 в каналах (трубах), которая положена в основу программы расчета испарителей тепловых насосов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калнинь И.М., Васютин В.А., Пустовалов С.Б. Условия эффективного применения диоксида углерода в качестве рабочего вещества тепловых насосов // Холодильная техника. 2003. № 7.
2. Калнинь И.М., Деревич И.В., Пустовалов С.Б. Исследование газоохладителей тепловых насосов на R744 // Холодильная техника. 2004. No 11.
3. Кутателадзе С.С. Теплопередача при конденсации и кипении. М.; Л.: Машгиз, 1952.
4. Chen J.C. A correlation for boiling heat transfer to saturated fluid in convective flow // ASME Paper. 63-HT-34. 1963. 1.
5. Fenghour A., Wakeham W.A., Vesovich V. The Viscosity of Carbon Dioxide // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1998. V. 27. No 1.
6. Gungor K.E., Winterton R.H.S. A general correlation for flow boiling in tubes and annuli // Int. J. Heat Mass Trans. 1986. V. 29. No 3.
7. Liu Z., Winterton R.H.S. A general correlation for saturated and subcooled flow boiling in tubes and annuli, based on a nucleate pool boiling equation // Int. J. Heat Mass Trans. 1991. V. 34.
8. Span R., Wagner W. A New Equation of State for Carbon Dioxide Covering the Fluid Region from the Triple-Point Temperature to 1100K at Pressure up to 800 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1996. V.25. No 6.
9. Vesovic V., Wakeham W.A., Olchoway G.A., Watson J.T.R., Millat J. The Transport Properties of Carbon Dioxide // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1990. V. 19. No 3.
10. Yun R., Kim Y., Kim M.S., Choi Y. Boiling heat transfer and dryout phenomenon of CO_2 in a horizontal smooth tube // Int. J. Heat Mass Trans. 2003. V. 46.