

На рисунке 8 представлены результаты обработки опытных данных по теплоотдаче при кипении чистого хладагента R410A по уравнениям (1-5).

Видно из рисунка 8 максимальное отклонение опытных и расчетных значений α не более 15%.

Установлено, что предложенные формулы для расчёта коэффициента теплоотдачи при кипении на трубах с ЧЗО хладагента R410A дают хорошие совпадения с экспериментальными данными.

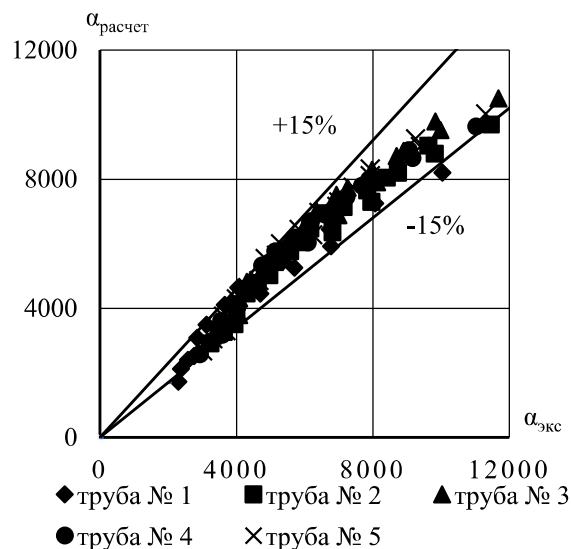


Рисунок 8. Сопоставление опытных и рассчитанных по уравнениям (1-5) значений α .

Обобщение показало, что влияние плотности теплового потока и давления на коэффициент теплоотдачи слабее для труб с ЧЗО, чем для оребренных труб. Полученные значения n и m для разных труб полностью отражают влияние плотности теплового потока и давления, которые рассмотрены ранее.

Значения n и m для труб с меньшим зазором между ребрами меньше, чем у труб с большим зазором. Это согласуется с экспериментальными данными полученными ранее.

В пределах эксперимента, степень влияния плотности теплового потока и давления на коэффициент теплоотдачи зависит от зазора между ребрами, чем меньше величина зазора между ребрами, тем меньше q и p влияют на α .

Анализ результатов обобщения опытных данных свидетельствует о том, что поверхностные условия существенно влияют на интенсивность теплоотдачи при кипении R410A.

Третья глава заканчивается основными выводами.

В четвертой главе «Результаты экспериментального исследования теплоотдачи при кипении хладагента R410A с маслом на оребренной трубе и трубах с ЧЗО» представлены результаты обработки экспериментальных исследований теплоотдачи при кипении хладагента R410A с маслом BSE32 на оребренной трубе и трубах с развитой поверхностью теплообмена и проведен анализ полученных данных.

На рисунке 9 показано влияние концентрации масла ξ_m на коэффициенты теплоотдачи при кипении на оребренной трубе (трубе №1) при различных плотностях теплового потока ($\alpha_m = f(q_{вн})$).

Из рисунка 9 видно, что при наличии масла коэффициент теплоотдачи растет с увеличением плотности теплового потока. Отсюда можно делать вывод, что механизм парообразования остается прежним, но степень влияния плотности теплового потока уменьшается с ростом ξ_m . Степень влияния плотности теплового потока на коэффициент теплоотдачи при кипении с наличием масла меньше, чем при кипении чистого хладагента.

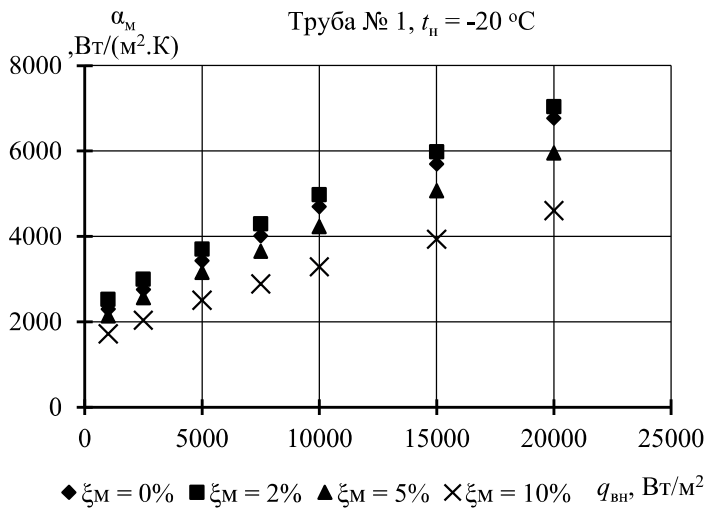


Рисунок 9. Влияние концентрации масла ξ_m на коэффициенты теплоотдачи при кипении на трубе №1 при различных плотностях теплового потока ($t_n = -20\text{ }^\circ\text{C}$).

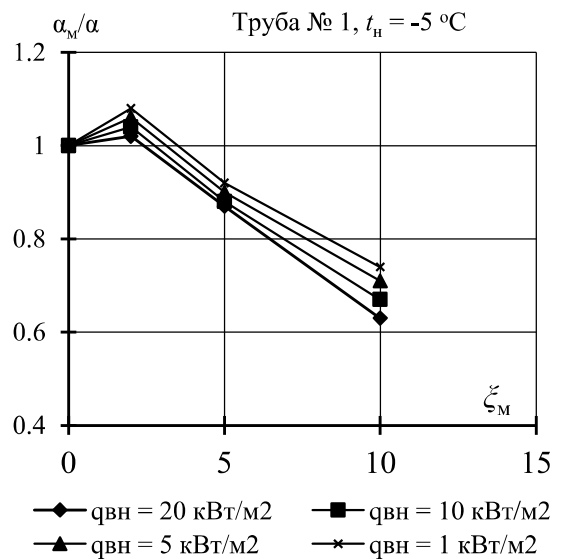


Рисунок 10. График $\alpha_m/\alpha = f(\xi_m)$ при кипении на трубах № 3 при различных плотностях теплового потока и давлениях ($t_n = -5\text{ }^\circ\text{C}$).

С увеличением концентрации масла, интенсивность теплообмена при кипении на оребренной трубе сначала возрастает (при концентрации масла 2%), а при дальнейшем её росте - падает. Из рисунка 9 видно, что при концентрации $\xi_m = 2\%$, коэффициент теплоотдачи при кипении на трубе № 1 больше, чем при кипении чистого хладагента. ($\alpha_m/\alpha = 1,05 \div 1,10$)

С ростом концентрации масла ξ_m интенсивность теплообмена уменьшается, из-за наличия хладон-масляной пленки на поверхности труб. Пузырьки растут медленнее, и интенсивность передачи тепла, которая зависит от скорости, с которой пузырьки растут и отходят от нагретой поверхности, уменьшается.

В результате эксперимента установлено, что коэффициент теплоотдачи на оребренной трубе возрастает с увеличением давления при одной и той же концентрации масла, при всех плотностях теплового потока. Однако увеличение p оказывает меньший интенсифицирующий эффект на теплоотдачу при кипении хладагента с маслом.

Из рисунка 10 видно, что с увеличением плотности теплового потока, уменьшается значение α_m/α . Так как при высоких плотностях теплового потока, кипение интенсивнее, и масло быстро приходит к стенке труб. При этом образуется более толстый слой масла, чем при маленьких плотностях теплового потока. Из-за толстого слоя масла на поверхности труб, ухудшается теплообмен.

Влияние концентрации масла ξ_m на коэффициенты теплоотдачи при кипении на трубе Y-профиля (трубе №3) при различных плотностях теплового потока ($\alpha_m = f(q_{вн})$) представлен на рисунке 11.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что коэффициент теплоотдачи при кипении на трубе № 3 растет с увеличением плотности теплового потока также как при кипении на оребренной трубе.

Степень влияния давления на коэффициент теплоотдачи при кипении с маслом меньше, чем при кипении чистого хладагента. Наличие масла ухудшает интенсивность теплообмена. С ростом концентрации масла ξ_m , коэффициент теплоотдачи при

кипении на трубах с ЧЗО падает (рисунок 11). Вышесказанные выводы аналогичны полученным результатам при кипении на других трубах с ЧЗО.

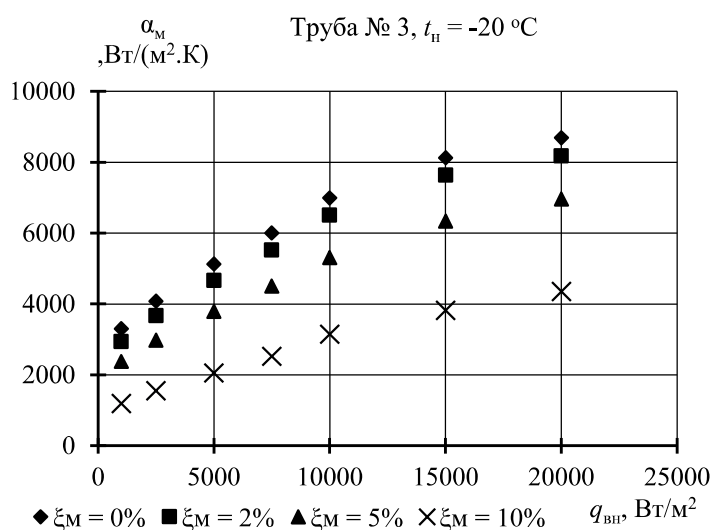


Рисунок 11. Влияние концентрации масла ξ_M на коэффициенты теплоотдачи при кипении на трубе №3 при различных плотностях теплового потока ($t_n = -20$ °C).

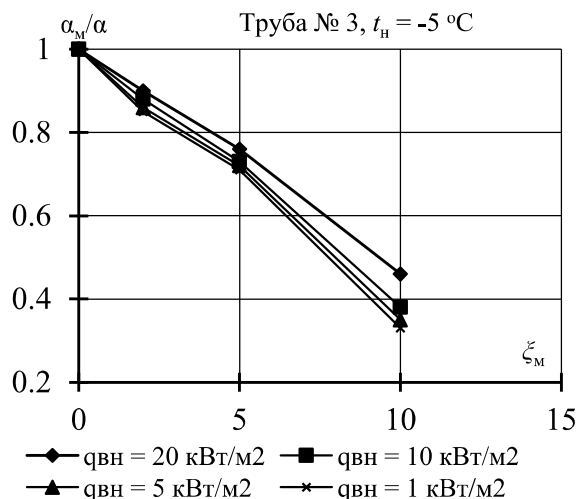


Рисунок 12. График $\alpha_M/\alpha = f(\xi_M)$ при кипении на трубах № 3 при различных плотностях теплового потока ($t_n = -5$ °C)

Присутствие масла даже при $\xi_M = 2\%$ уменьшает коэффициент теплоотдачи для труб с развитыми поверхностями теплообмена. При концентрации $\xi_M = 10\%$ резко ухудшается теплообмен. Это объясняется тем, что масло аккумулируется в ЧЗО труб, и его трудно удалять из канала, что ухудшает теплообмен (рисунок 12).

Из рисунка 12 видно, что с увеличением плотности теплового потока, увеличивается значение α_M/α . Для оребренной трубы получены обратные результаты. Причиной служит то, что в отличие от оребренной трубы, при кипении на трубах с ЧЗО основным фактором является перенос тепла в ЧЗО. При высоких плотностях теплового потока, возможно удалять больше масла с канала, чем при кипении на маленьких плотностях теплового потока. Из-за этого увеличивается теплообмен.

С целью сравнения коэффициентов теплоотдачи при кипении на трубах при разных концентрациях масла, при температуре насыщения $t_n = -20$ °C для всех труб построим график $\alpha_M = f(q_{вн})$ (рисунок 13).

Установлено, что концентрация масла ξ_M свыше 2% приводит к монотонному снижению коэффициента теплоотдачи во всех случаях. При концентрации $\xi_M = 10\%$ резко ухудшается теплообмен, особенно на трубах с развитыми поверхностями теплообмена. Наличие масла ухудшает теплообмен при кипении хладагентов на трубах с ЧЗО, сильнее, чем на оребренных поверхностях. При концентрации $\xi_M = 2\%$ и $\xi_M = 5\%$, коэффициент теплоотдачи при кипении на трубе с ЧЗО больше, чем при кипении на оребренной трубе. Однако при $\xi_M = 10\%$ коэффициент теплоотдачи при кипении на трубе с ЧЗО становится меньше, чем при кипении на оребренной трубе (рисунок 13). Поэтому концентрация масла в судовом испарителе следует поддерживать не более 5%. Анализ экспериментальных результатов показывает, что уменьшение размера зазора на трубах с ЧЗО от 0,5 до 0,25 мм приводит к некоторому уменьшению значения α_M/α . Это может быть связано с накоплением большого количества масла внутри каналов с меньшим зазором и трудностями, связанными с его удалением.

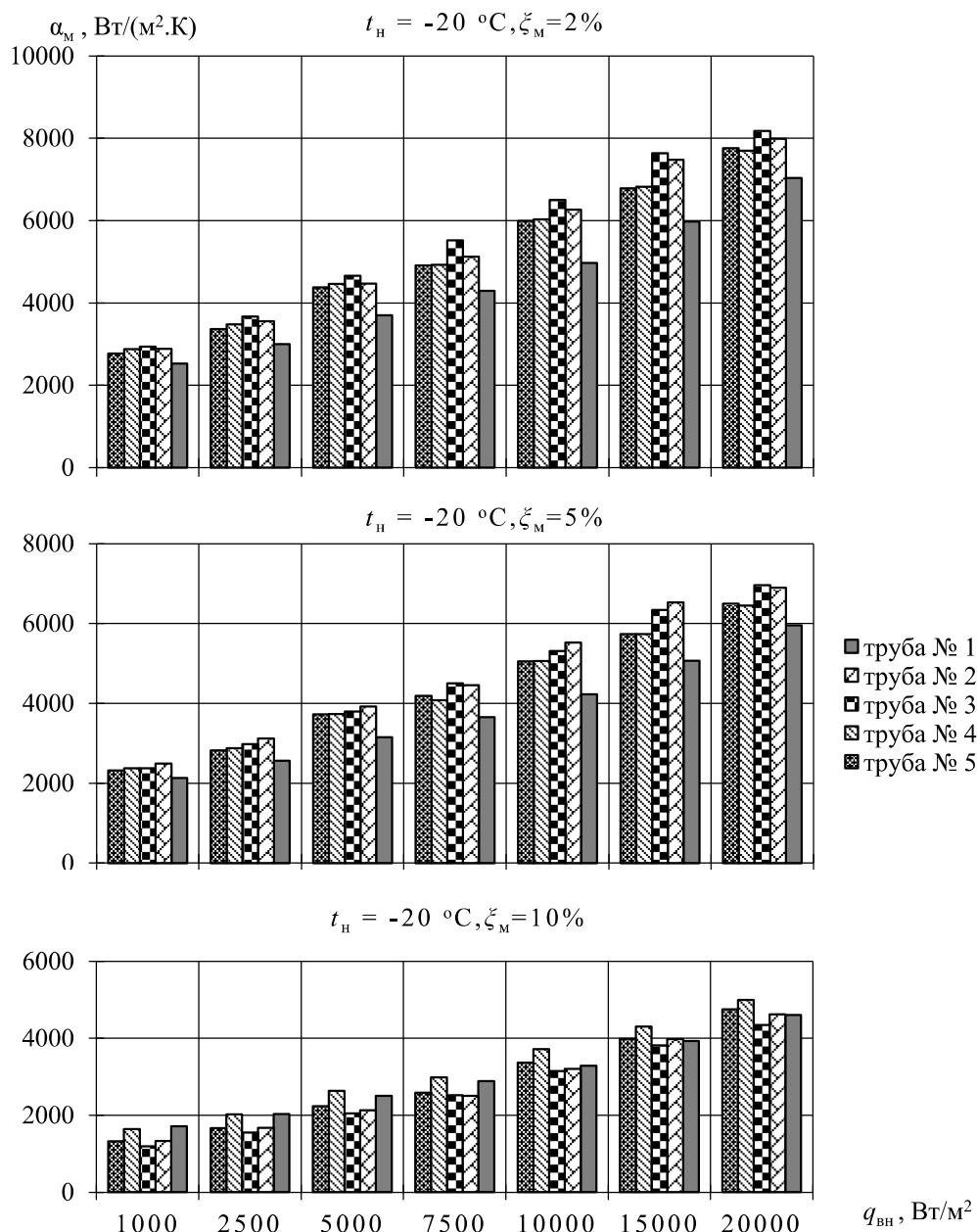


Рисунок 13. График $\alpha_M = f(q_{vh})$ при кипении на трубах при разных концентрациях масла при температуре насыщения $t_n = -20$ °C.

Отмечено, что при одинаковом размере зазора, трубы с Г-профилем имеют значение α_M/α больше, чем у труб с Y-профилем. Возможно, это связано с тем, что маслохладоновая смесь аккумулируется в ЧЗО на трубах с Y-профилем, ее более трудно удалять из канала, вследствие чего ухудшается теплообмен.

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать вывод о том, что с увеличением давления, величина α_M/α уменьшается. Это значит, что с понижением температуры насыщения уменьшается влияние масла на степень ухудшения теплообмена. Причины связаны со снижением поверхностного натяжения и интенсивности пенообразования при меньших давлениях.

При обработке экспериментальных данных получены зависимости, учитывающие влияние ζ_M и профиль ребер, рекомендуемые авторами для расчета коэффициента теплоотдачи α_M при проектировании кожухотрубных испарителей с кипением R410A с маслом на трубах с ЧЗО.