

УДК 697

К вопросу о совмещении функций буферного бака и гидравлического разделителя в системах холодоснабжения с чиллерами

Тимофеевский А.Л. (Институт Холода и Биотехнологий НИУ ИТМО),
Сайфуллин Т.(ЦНИИ им.акад.А.Н.Крылова), Евдокимов К.М. (ООО
“Компания ДАК”)

alt1960@mail.ru

Для обоснованного выбора гидравлического разделителя в двухконтурной схеме процесса холодоснабжения проведено моделирование полей температур и скоростей в типичных конструкциях, применяемых на практике.

Ключевые слова: хладоноситель, гидравлическое разделение, циркуляционный контур, чиллер, уравнения Навье-Стокса

On combining the functions of buffer tank and hydraulic separator in refrigeration systems with the chillers

Timofeyevsky AL (Institute of Refrigeration and Biotechnology ITMO) Saifullin T. (Krylov Shipbuilding Research Institute), Evdokimov KM ("Company DAC")

alt1960@mail.ru

To make informed choices in the dual-circuit hydraulic separator circuit cooling process used to simulate the temperature and velocity fields in typical designs used in practice.

Keywords: coolant, hydraulic separation, flow circuit, the unit, the Navier-Stokes

При проектировании систем холодоснабжения с промежуточным хладоносителем применяется схема с гидравлическим разделением циркуляционных контуров чиллеров и потребителей /1/. Исторически такая схема была заимствована из области отопления (схемы с так называемой “гидравлической стрелкой”). Основная цель, достигаемая применением таких схем - создание через чиллер постоянного расхода жидкости, независящего от изменения расходов через контуры потребителей (рис.1). Довольно часто в качестве гидравлического разделителя используется так называемый буферный бак, включаемый в систему для защиты компрессоров чиллера от частых пусков. Нередки случаи, когда для этого применяются типовые элементы схем отопления (рис.2), что из-за разных режимов работы

отопительных и холодильных систем может приводить к энергетическим потерям.

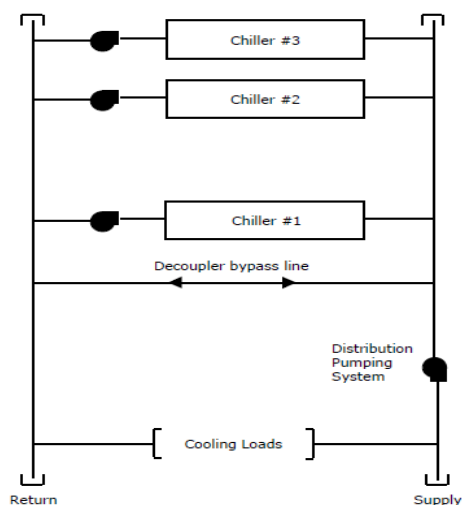


Рис.1. Схема холодоснабжения с гидравлическим разделителем (“decoupler”); Рис.2. Серийный гидравлический разделитель

Для обоснованного выбора гидравлического разделителя в двухконтурной схеме холодоснабжения авторами было проведено моделирование полей температур и скоростей в типичных конструкциях, применяемых на практике.

Для численного моделирования использовался CFD-пакет STAR-CCM+ и четырехядерный компьютер. Объем расчетной сетки для геометрии, представленной на рисунках, составлял от 1.5 млн. ячеек (задача с гидравлическим разделителем) до 2 млн. ячеек (задача с буферным баком). В основном объеме сетки использовались ячейки полиэдральной формы, вблизи стенок для расчетов пограничного слоя применялась призматическая сетка. В качестве граничных условий задавались: профили скорости на входных патрубках (полученные в предварительных расчетах), температуры жидкости и постоянные расходы на выходных патрубках. Для учета сил гравитации использовалось полиномиальное распределение плотности жидкости от температуры. Расчеты проводились RANS-методами (решение системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу) с подключением модели турбулентности $k-\omega$ SST. Продолжительность расчета одной задачи составила около 5 часов.

Расчеты были выполнены для следующих вариантов и условий:
1. Герметичный буферный бак, в нижний или верхний патрубок которого входит вода, охлажденная в чиллере до температуры $+7^{\circ}\text{C}$ (рис.1).

2. Гидравлический разделитель в виде трубы того же диаметра, что и магистральные трубы чиллера, с подачей в его нижнюю или в верхнюю зону воды, охлажденной до $+7^{\circ}\text{C}$ (рис.2).
3. Скорости воды на входе и выходе из разделителей равны 1 м/с, проектный перепад температур по воде на чиллере и потребителях равен 5К .



Рис.3. Буферный бак с расчетной сеткой: объем $V=1 \text{ м}^3$, диаметр $D=1 \text{ м}$, высота $H=1,28 \text{ м}$

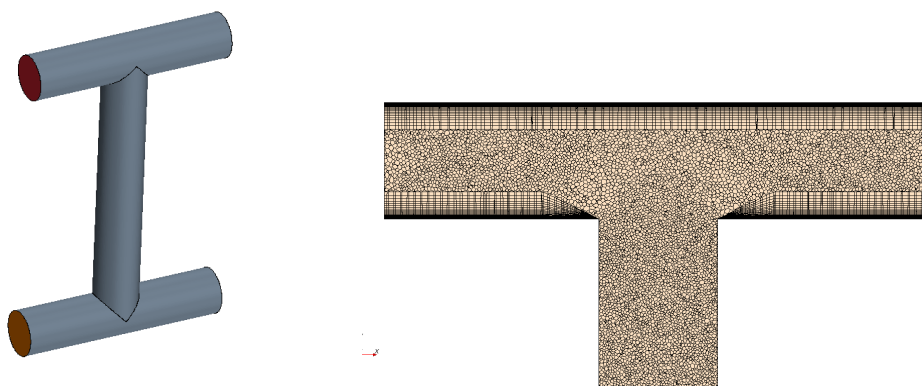


Рис.4. Гидравлический разделитель в виде трубы: $D=65 \text{ мм}$, $d=65 \text{ мм}$, $H=200\dots 600 \text{ мм}$

Результаты расчетов и пример расчетной сетки приведены на рис. 5-11.

Гидравлический разделитель в виде буферного бака

При подаче охлажденной воды к потребителям через верхнюю зону бака (рис. 5) в его объеме происходит интенсивное перемешивание охлажденного и отепленного потоков (рис. 6). Из-за влияния гравитации холодная струя в верхней части бака начинает отклоняться от горизонтали,

кроме того, в объеме бака образуются крупные вихревые структуры и возникает устойчивая циркуляция вдоль его вертикальных поверхностей. В результате к потребителям подается вода с температурой $+8,5^{\circ}\text{C}$ вместо $+7^{\circ}\text{C}$, что является нарушением проектного режима.

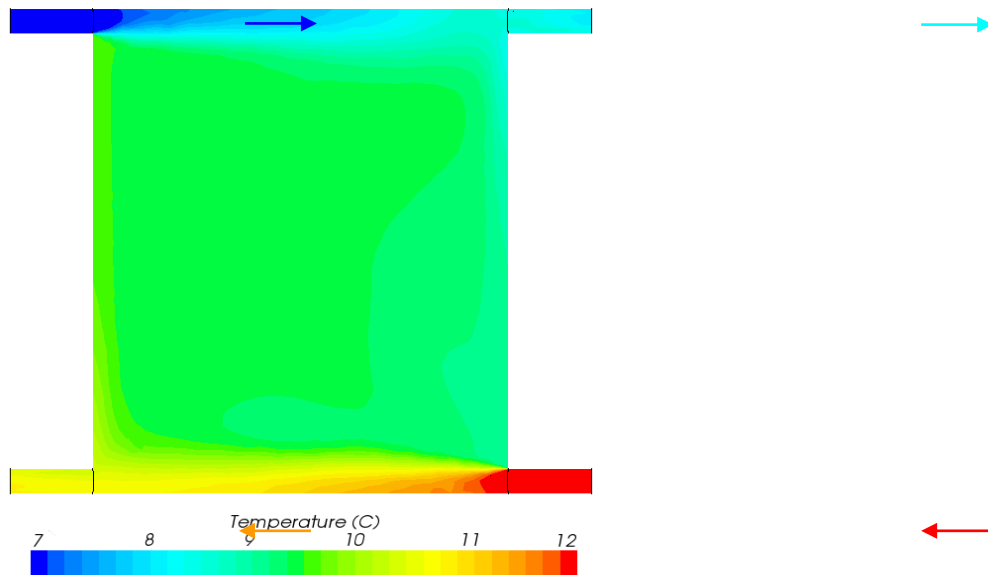


Рис.5. Распределение температур в буферном баке при подаче охлажденной воды к потребителям через верхнюю зону (скорости в прямой и обратной трубе 1 м/с)

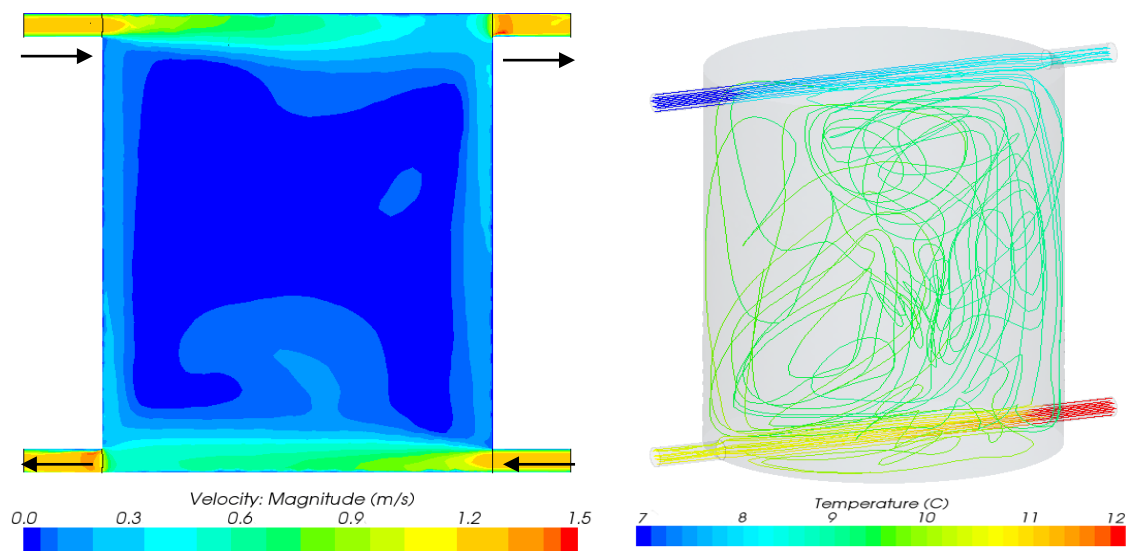


Рис.6. Распределение скоростей и потоков в буферном баке при подаче охлажденной воды к потребителям через его верхнюю зону

При подаче охлажденной воды к потребителям через нижнюю зону буферного бака (рис. 7) степень перемешивания охлажденного и отепленного потоков несколько уменьшается. Холодная струя, входящая в бак, силой гравитации прижимается к его дну, и поле скоростей, показанное синим

цветом на рис.8, выглядит более упорядоченным по сравнению с рис.6. Тем не менее, вода, входящая в бак с температурой $+7^{\circ}\text{C}$, выходит к потребителям с температурой около $+8^{\circ}\text{C}$. Рост температуры воды на выходе из бака говорит о значительном термодинамическом несовершенстве рассматриваемого разделителя. Это можно проиллюстрировать следующим примером: получение потребителями температуры хладоносителя $+7^{\circ}\text{C}$ потребует ее снижения в чиллере до $+6^{\circ}\text{C}$, а значит увеличения холодильной мощности машины на 20%.

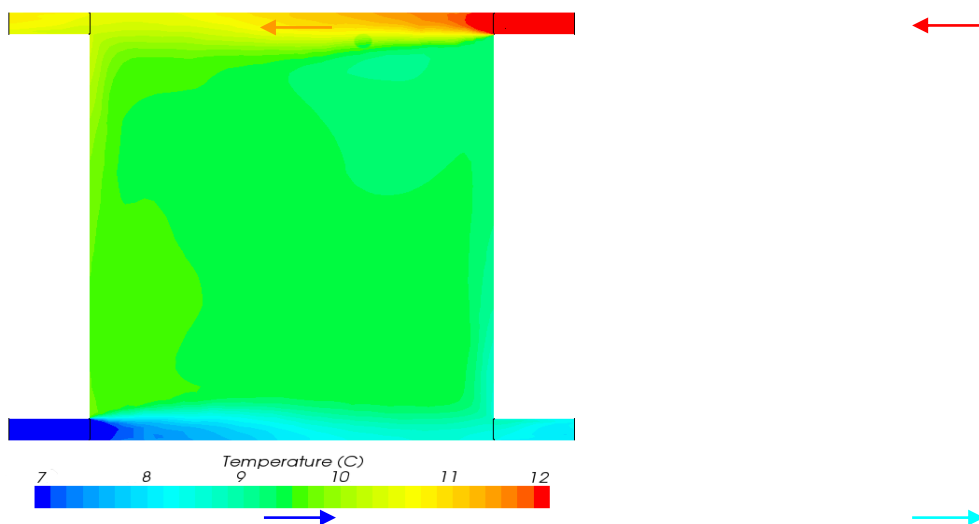


Рис.7. Распределение температур в буферном баке при подаче охлажденной воды к потребителям через нижнюю зону (скорости в прямой и обратной трубе 1 м/с)

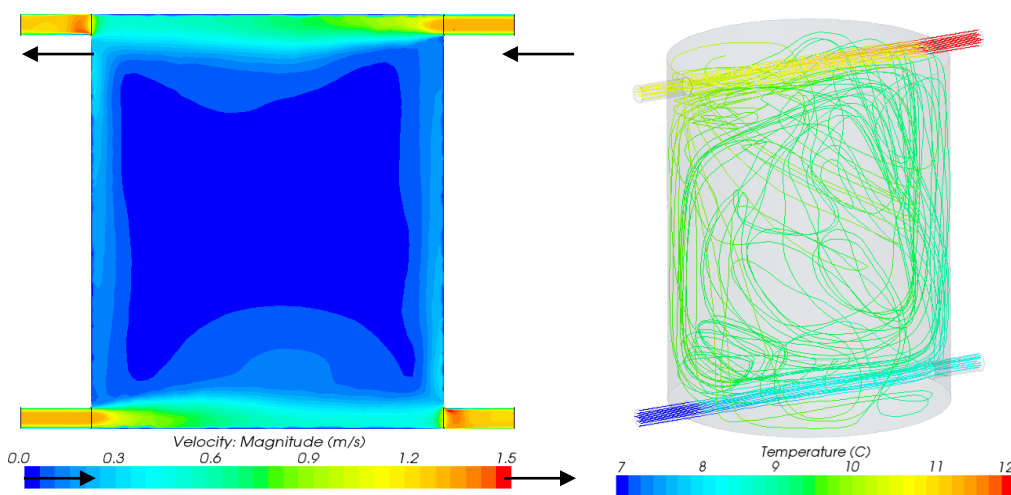


Рис.8. Распределение скоростей и потоков в буферном баке при подаче охлажденной воды к потребителям через нижнюю зону

Гидравлический разделитель в виде трубы

При использовании в качестве гидравлического разделителя трубы перемешивание прямого и обратного потоков в ней практически не происходит, причем это относится к перемычкам разной высоты. На рис.9 и 10 приведены поля температур и скоростей в трубе высотой 600 мм при подаче потока из чиллера в ее нижнюю часть. Из рис.9 видно, что температура воды, входящей из чиллера в разделитель и выходящей из него к потребителям, не меняется.

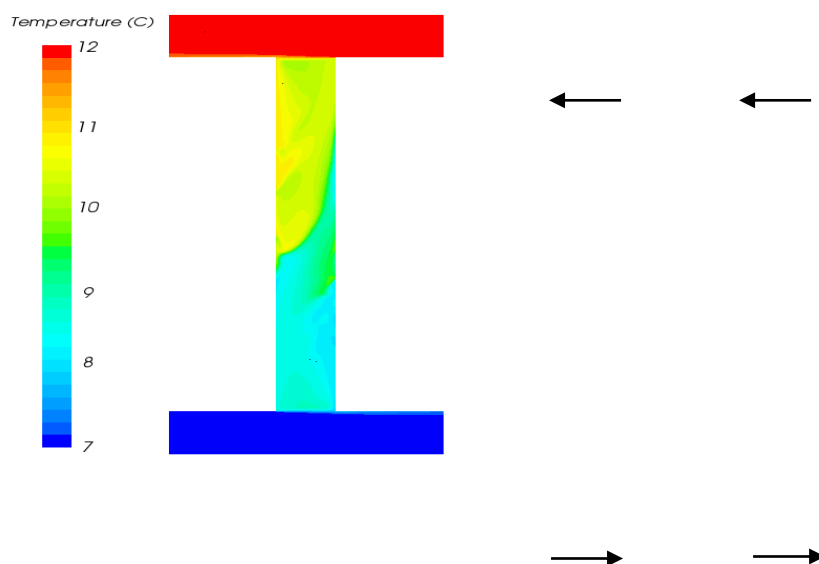


Рис.9. Распределение температур в трубе-перемычке при подаче охлажденной воды к потребителям через нижнюю зону (скорости в прямой и обратной трубе 1 м/с)

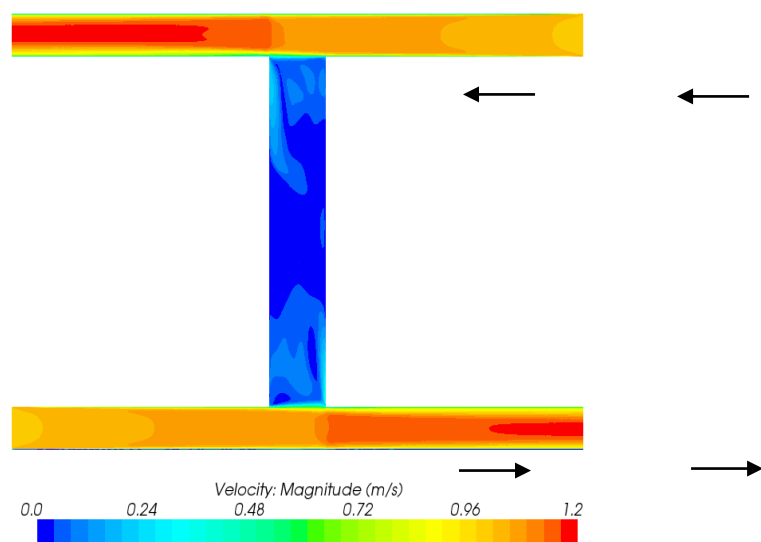


Рис.10. Распределение скоростей и течений в трубе-перемычке при подаче охлажденной воды к потребителям через нижнюю зону

Подача охлажденной воды к потребителям через верхнюю зону трубы-перемычки, а также уменьшение высоты перемычки с 600 до 200 мм принципиально не изменили результат.

На рис.11 приведены поля температур в гидравлическом разделителе при уменьшении расхода воды через контур потребителей холода в 2 раза, например, при отключении части потребителей. Видно, что “лишнее” количество охлажденной воды через гидравлический разделитель возвращается в чиллер, сохраняя расход через испаритель одинаковым как при полной, так и при частичной тепловой нагрузке. При температуре прямого потока $+7^{\circ}\text{C}$ температура обратного потока после разделителя равна примерно $+9,5^{\circ}\text{C}$. В связи с тем, что при кондиционировании воздуха регулирование, в большинстве случаев, производится по температуре обратного потока, снижение тепловой нагрузки от потребителей приведет к соответствующему уменьшению количества вырабатываемого холода.

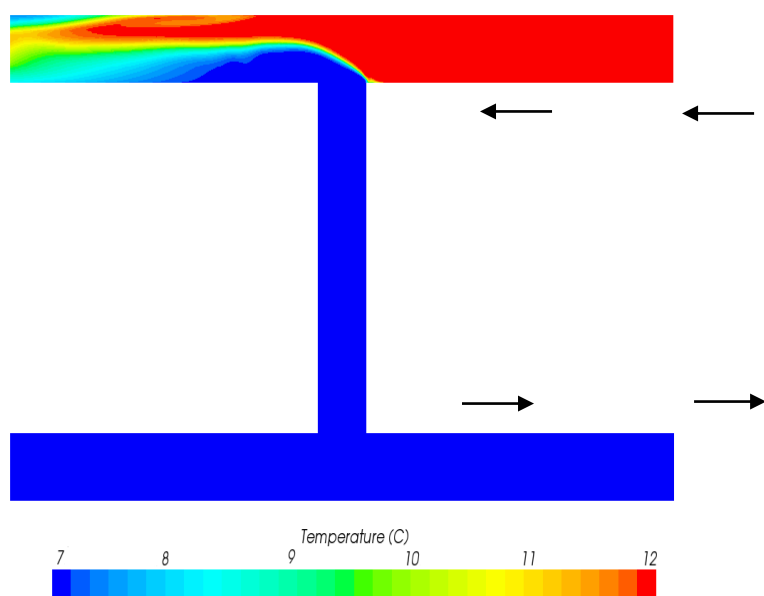


Рис.11. Распределение температур в трубе-перемычке при отключении части потребителей (скорость в прямой трубе 1 м/с, в обратной трубе 0,5 м/с)

Вывод: Исходя из приведенных результатов, можно рекомендовать при проектировании двухконтурных систем холодоснабжения с промежуточным хладоносителем отказаться от использования буферного бака в качестве гидравлического разделителя. При необходимости включения в контур чиллера буферной емкости можно устанавливать в качестве разделителя контуров трубу-перемычку с диаметром, близким или равным диаметру магистральных трубопроводов, и, отдельно, бак на прямом или обратном трубопроводе (рис.12). Размещение буферного бака на входе в чиллер

следует считать предпочтительным с точки зрения демпфирования резких тепловых возмущений в контуре потребителей.

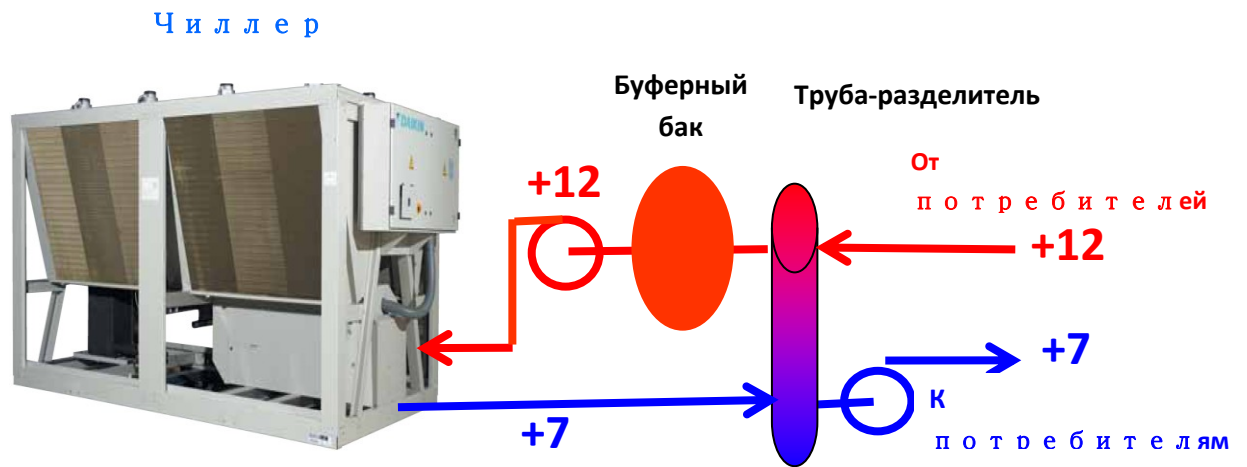


Рис.12. Схема холодоснабжения с гидравлическим разделением контуров циркуляции чиллера и потребителей.

Литература:

1. Avery, G. 2001. "Improving the efficiency of chilled water plants." *ASHRAE Journal* 43(5), с.14-18.