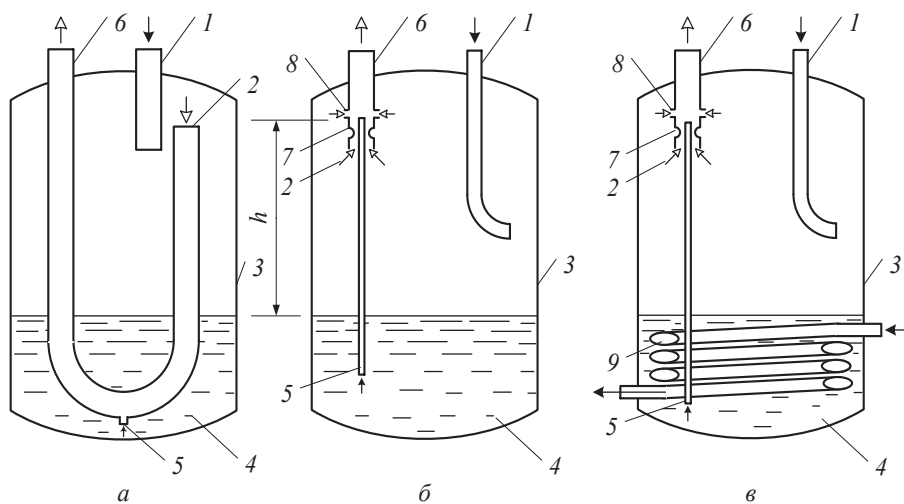


## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОТДЕЛИТЕЛЯ ЖИДКОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Отделители жидкости предназначены для предотвращения попадания жидкого хладагента в компрессор при переходных режимах работы холодильной машины: оттаивание, отключение компрессора, изменение условий внешней среды и т.п. На данных режимах работы смесь хладагента и масла собирается внутри корпуса отделителя. Затем хладагент должен испариться, а масло, захватываемое потоком пара, поступает в компрессор холодильной машины. Основная задача, решаемая с помощью отделителя, дозированное поступление жидкого хладагента и масла в компрессор. Попадание жидкости в компрессор может приводить к гидравлическому удару и его разрушению. Включение отделителя жидкости в состав холодильной машины повышает надежность ее работы.

Рассмотрим альтернативные конструкции отделителей жидкости, которые представлены на рисунке 1.



*a* – базовый; *б* – с эжектором; *в* – встроенным теплообменником  
1 – вход парожидкостной смеси; 2 – вход сухого пара хладагента;  
3 – корпус; 4 – смесь масла и жидкого хладагента; 5 – вход жидкости; 6 – выход  
пара; 7 – эжектор; 8 – уравнивающие отверстия;  
9 – теплообменник

**Рисунок 1 – Отделитель жидкости**

Простейшая конструкция отделителя показана на рисунке 1 *a*. Влажный пар хладагента, содержащий масло, поступают через входной патрубок 1. За счет резкого изменения скорости потока на выходе из

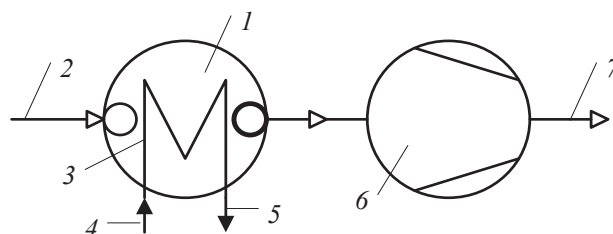
патрубка в резервуаре капли жидкого хладагента и масла осаждаются в нижней части корпуса 3. Возвращение паров в компрессор обеспечивается посредством установки специальной  $U$ -образной трубки 2 с отверстием 5 в нижней части. При этом конструкция этого патрубка такова, что сухой пар хладагента забирается из верхней части отделителя жидкости, а масло поступает через отверстие 5, захватывается потоком пара и паромасляная смесь направляется в компрессор. При проектировании данного отделителя жидкости на основе эмпирических данных рассчитывается допустимая максимальная скорость в поперечном сечении, на основе которой рассчитывается минимальный диаметр корпуса. Рекомендуются поддерживать отношение длины сосуда к диаметру от 3 до 5 [1]. Недостатком данной конструкции является то, что она не гарантирует исключения попадания жидкости в компрессор и не позволяет дозировать возврат масла.

В работе [2] предлагается использовать модернизированную конструкцию отделителя с эжектором. Рабочий поток пара с массовым расходом  $G_p$  засасывается через кольцевой зазор (сопло) между корпусом эжектора 7 и трубкой нагнетаемой жидкости и масла 5 с расходом  $G_n$ . Уравнительные отверстия 8 диаметром  $d_y$  позволяют уменьшить расход пара через сопло, а, следовательно, и расход возврата жидкости и масла. Общий поток  $G = G_p + G_n$  поступает на вход компрессора. Такая конструкция обеспечивает нормальную циркуляцию масла в холодильной машине, но не исключает попадание избыточной жидкости в компрессор. Метод предварительного расчета оценки коэффициента инжекции и сухости пара на выходе для таких отделителей отсутствует. В настоящей работе представлена разработанная приближенная методика поверочного расчета этих параметров.

Сущность методики расчета эжектора отделителя заключается в следующем. Вначале задаются исходные режимные и конструктивные параметры. Режимные параметры включают расход двухфазного потока на входе в отделитель, температуру и его физические свойства (плотность и вязкость). Конструктивные параметры задаются для трубки нагнетания жидкости 5 и эжектора 7 с соплом в виде кольцевого канала. Для эжектора задаем толщину кольцевого зазора сопла, диаметр участка канала смешения газового и жидкого потоков, число и диаметр уравнительных отверстий. Затем рассчитываются площади сечения для прохода нагнетаемой жидкости, участка смешения потоков и уравнительных отверстий. Коэффициенты скорости сопла и камеры смешения соответственно принимаются 0,95 и 0,975 [3].

Далее проводится расчет эжектора в следующем порядке. Вначале определяются расходы пара через уравнительные отверстия и

сопло, скорость пара и перепад давления в сопле. Массовый расход нагнетаемой жидкости  $G_{н,i}$  находится методом итераций. В данном расчетном блоке определяются скорость и число Рейнольдса потока жидкости в нагнетаемой трубе, напор, создаваемый эжектором и скорость нагнетаемой жидкости за соплом, расход потока после смешения. Для нахождения скорости потока после смешения в камере эжектора предварительно рассчитывается сухость пара и плотность гомогенной смеси. После чего находится следующее приближение расхода нагнетаемой жидкости  $G_{н,i+1}$ . Итеративный процесс завершается после достижения заданной точности в определении расхода. В заключение определяем коэффициент инжекции, как отношение расхода нагнетаемой жидкости к расходу рабочего потока пара через сопло. Отделитель жидкости с эжектором (см. рис. 1 б) по сравнению с базовой конструкцией (см. рис. 1 а) повышает надежность подачи масла в компрессор, но не исключает подачу в него избыточного жидкого хладагента. Для исключения подачи жидкости в компрессор отделитель жидкости 3 дополнительно комплектуется встроенным теплообменником 9 в виде змеевика (см. рис. 1 в). Схема подключения отделителя жидкости с теплообменником дана на рисунке 2. Греющей средой является конденсат, поступающий из ветви высокого давления 4, а затем после отделителя он поступает в терморегулирующий вентиль.

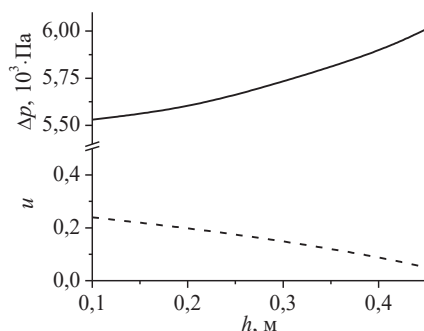


1 – отделитель жидкости; 2 – вход парожидкостной смеси из испарителя;  
3 – теплообменник; 4 – вход конденсата; 5 – выход конденсата; 6 – компрессор;  
7 – поток перегретого пара в конденсатор

**Рисунок 2 – Схема подключения отделителя жидкости с теплообменником**

Встроенный теплообменник выполняет функцию дополнительного испарителя с кипением на горизонтальных трубах змеевика в объеме жидкости. Для расчета испарителя задаются режимные и конструктивные параметры. Режимными параметрами являются расход и температура конденсата, давление в корпусе отделителя и температура в объеме жидкости, на основе которых находятся физические свойства рабочих сред. Конструктивные параметры включают диаметр и длину труб змеевика, шаг и число его витков, на основе которых рассчитывается площадь поверхности теплообмена.

Поверочный тепловой расчет теплообменника выполняется на основе совместного решения уравнений теплового баланса со стороны греющей жидкости (конденсата) и кипящей жидкости на поверхности трубы змеевика, и уравнения теплопередачи. Система уравнений дополняется замыкающими уравнениями подобия для расчета коэффициентов теплоотдачи при течении потока внутри змеевика [4] и со стороны кипящей жидкости [5].



**Рисунок 3 – Изменение напора  $\Delta p$  и коэффициента инжекции  $u$**

Разработанная методика расчета отделителя позволяет априори определить влияние высоты подъема жидкости  $h$  на коэффициент инжекции. Например, для хладагента R22 результаты показаны на рисунке 3. Видно, что с ростом высоты подъема жидкости с 0,1 до 0,4 м коэффициент инжекции  $u$  уменьшается в 2,7 раза при росте требуемого напора  $\Delta p$ , создаваемого эжектором, с 5530 до 5890 Па.

Полученные расчетные данные позволяют разработать систему автоматического регулирования возврата масла в компрессор при его сухом ходе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Learman S. Vertical gas-liquid separator calculator. – Blackmonk Engineering Ltd, 2009. – 12 p.
2. Применение отделителей жидкости в малых холодильных машинах // Гопин С.Р., Евстигнеева В.Н., Усова В.В. и др. / Холодильная техника. – 1981. – № 8. – С. 17–19.
3. Соколов Е.А., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
5. Баттерворс Д. Теплопередача в двухфазном потоке. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.