

# ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН С КОМБИНИРОВАННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А. Н. Фот, Д. К. Мельников

Омский государственный технический университет,  
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Предложена методика расчета холодильных машин с узлом конденсации, реализующим водяной и воздушный способы охлаждения, учитывающая экономические и климатические особенности расчетного региона. Поскольку экономический и климатический факторы имеют разную степень влияния на энергоэффективность и экономичность холодильных машин во всем диапазоне изменяющихся температур охлаждающих сред, то результаты расчета холодильных машин по предложенной методике позволяют принимать взвешенные решения о компоновке узла конденсации как на этапе проектирования, так и на этапе разработки программы по управлению холодильной установкой в течение года. Выполнен сравнительный анализ холодильных машин с комбинированным охлаждением конденсаторов для регионов г. Омска и г. Берлина. Выявлено наиболее значимое влияние климатического фактора при низких температурах охлаждающего воздуха и влияние стоимости охлаждающей воды при высоких температурах воздуха.

**Ключевые слова:** комбинированное охлаждение, узел конденсации, водяное и воздушное охлаждение, экология, экономия энергоресурсов, математическая модель, холодильная машина.

## Введение

Современные вызовы к способам производства и распределения основных энергоресурсов (электроэнергия и вода) требуют пересмотра подходов в проектировании и эксплуатации холодильных машин, ставших классическими. Перспективным является предложение осуществлять поиск оптимальной компоновки и работы холодильной установки в течение года с совместным учетом экономических и экологических параметров [1]. Ряд работ посвящен рассмотрению экономической выгоды вследствие повышения энергетической эффективности с использованием преимуществ комбинированного охлаждения энергоблоков [2, 3]. В то же время в работах [4–7] говорится о критическом состоянии водных ресурсов планеты, причем негативное влияние нефтегазового комплекса наиболее значимо. Классическая схема холодильных машин предполагает значительное потребление воды для охлаждения конденсаторов. Вследствие высокой энергоемкости холодильных машин нефтегазового комплекса применение комбинированного охлаждения конденсаторов (воздушное и водяное) учитывает современную тенденцию сокращения потребления энергоресурсов и снижает негативное влияние нефтегазового комплекса на окружающую среду.

Степень охлаждения в конденсаторах холодильной машины определяет давление конденсации и, как следствие, нагрузку, потребляемую компрессором. Способы охлаждения конденсаторов водой и воздухом имеют различные термодинамические, эксплуатационные характеристики. Некоторые из них изменяются в течение года эксплуатации. Решения по охлаждению конденсаторов водой или воздухом будут оптимальными в ограниченном диапазоне температур охлаждающих сред. Поэто-

му целесообразно рассмотреть комбинированное охлаждение конденсаторов, однако это связано с трудностями их расчета и регулирования. В данной работе предлагается рассмотрение особенностей комбинированной схемы охлаждения конденсаторов и ее расчета.

## Постановка задачи

В ряде работ [8–11] описываются способы воздействия на элементы холодильной машины для снижения температуры конденсации, поскольку это позволяет снизить затраты на привод компрессора — основного потребителя энергоресурсов холодильной машины. Для достижения этой цели предлагается осуществлять управление приводом вентиляторов конденсаторов, увеличение расходов охлаждающих сред, применение испарительного охлаждения, увеличение теплообменной поверхности и др. При этом эффект от предложенных способов оценивается степенью снижения затрат на привод компрессора, увеличением показателя холодильного коэффициента.

Следует иметь в виду, что внедрение мероприятий по снижению температуры конденсации влекут за собой увеличение затрат на установку теплообменной поверхности конденсаторов, на увеличение расходов охлаждающих воды или воздуха и других сопутствующих затрат.

Для адекватной оценки эффективности работы холодильной установки следует учитывать затраты на привод вентиляторов и насосов охлаждающих сред конденсаторов, в таком случае холодильный коэффициент холодильной установки примет вид выражения (1).

$$COP_{ycm} = Q_0 / (N_{компр} + N_{вент} + N_{нас}). \quad (1)$$

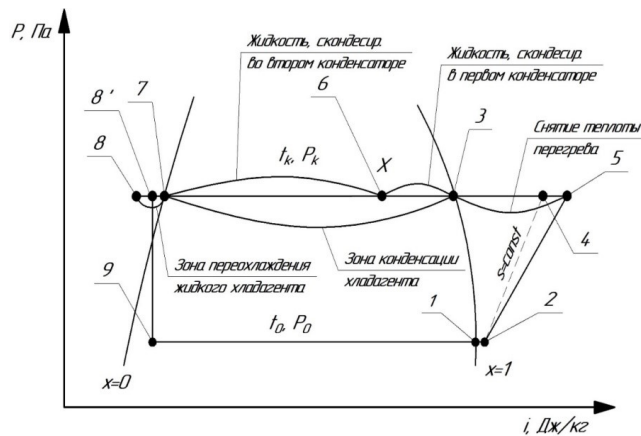


Рис. 1. Холодильный цикл с узлом конденсации комбинированного охлаждения  
 Fig. 1. Refrigeration cycle with combined cooling condensation unit

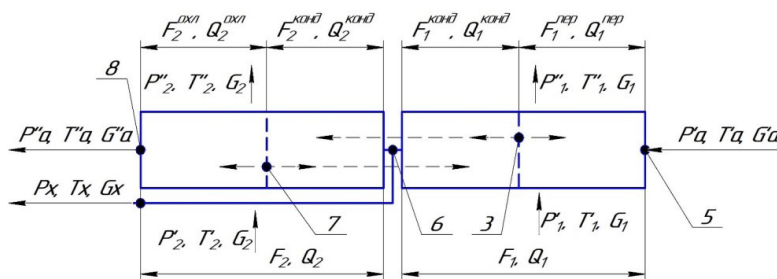


Рис. 2. Расчетная схема узла конденсации с комбинированным охлаждением  
 Fig. 2. Design scheme of the condensation unit with combined cooling

Такой подход к определению холодильного коэффициента позволяет оценивать отношение энергетических затрат на производство единицы холода так же и для естественно-циркуляционных схем работы холодильной установки.

В случае использования воды для охлаждения конденсаторов стационарных холодильных машин кроме энергетических затрат следует учитывать и стоимость подготовленной воды, которая имеет тенденцию к постоянному росту по экономическим и экологическим причинам [12–14]. К тому же стоимости электроэнергии и воды в разных регионах страны и мира существенно отличаются, что создает необходимость исследования способов снижения затрат на производство холода индивидуально для каждой экономической зоны.

В работах [15, 16] предложен способ комбинированного охлаждения конденсаторов холодильной установки водой и воздухом. Холодильный цикл такой установки представлен на рис. 1. Последовательное охлаждение хладагента в конденсаторах водяного и воздушного охлаждения позволяет использовать преимущества как водяного, так и воздушного охлаждения, что особенно актуально для регионов со значительно изменяющимися атмосферными температурами. Поскольку температура перегрева в процессе сжатия хладагента может быть значительно выше температуры конденсации, то предпочтительнее охлаждать пар в конденсаторе с более высокой температурой охлаждающей среды.

Поскольку предложенная к рассмотрению [17, 7] холодильная установка включает в себя такие способы снижения температуры конденсации, как совместное охлаждение хладагента в водяном и воздушном

конденсаторах, использование естественно-циркуляционной схемы, изменение последовательности прохождения хладагента через конденсаторы водяного и воздушного охлаждения, регулирование расходов охлаждающих сред, то оценка эффективности работы холодильной установки не может осуществляться только на основании холодильного коэффициента холодильной установки.

Для проведения анализа эффективности применения холодильной установки с конденсаторами комбинированного охлаждения следует использовать методику, учитывающую как энергетические факторы, так и экономические. Также следует учитывать климатические особенности региона размещения холодильной установки.

Для оценки влияния климатических и экономических факторов приняты данные регионов г. Омска и г. Берлина.

### Метод исследования

На рис. 1 показано, что тепловые и массовые потоки в узле конденсации хладагента могут смещаться как в сторону конденсатора воздушного, так и водяного охлаждения. Для анализа процессов сбива теплоты перегрева, конденсации и переохлаждения, а также определения границ перехода процессов и анализа распределения тепловых потоков в узле конденсации разработана расчетная схема узла конденсации с комбинированным охлаждением (рис. 2).

На основе известных уравнений среднелогарифмической разности температур и тепловой нагрузки конденсатора [4–6], определяемой посредством геометрических и режимных факторов работы узла кон-

денсации получены уравнения (2) и (3) для определения температуры конденсации, выраженные через параметры водяного и воздушного конденсаторов.

$$T_k = \frac{T_1'' \cdot \exp(F_1^{\text{конг}} \cdot k_1^{\text{конг}} \cdot \Delta T_1 / Q_1^{\text{конг}}) - T_1'}{\exp(F_1^{\text{конг}} \cdot k_1^{\text{конг}} \cdot \Delta T_1 / Q_1^{\text{конг}}) - 1}. \quad (2)$$

$$T_k = \frac{T_2'' \cdot \exp(F_2^{\text{конг}} \cdot k_2^{\text{конг}} \cdot \Delta T_2 / Q_2^{\text{конг}}) - T_2'}{\exp(F_2^{\text{конг}} \cdot k_2^{\text{конг}} \cdot \Delta T_2 / Q_2^{\text{конг}}) - 1}. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) очевидно влияние площади теплообменной поверхности водяного и воздушного конденсаторов, расходов, а также температур охлаждающих сред в них на температуру конденсации.

Основным потребителем электроэнергии холодильной машины считается компрессор, в связи с чем снижение температуры конденсации является основным мероприятием по снижению энергозатрат холодильной машины. Поскольку в холодильной установке учитываются все затраты на производство холода, то выражение (4) содержит также и затраты на привод циркуляционных насосов системы водяного охлаждения, стоимость подготовленной воды, затраты на привод вентиляторов системы воздушного охлаждения, стоимость капитальных затрат на установку теплообменного оборудования и их периодического обслуживания.

$$\mathcal{E}_i = \sum_{i=a,w,ip} [H_a \cdot S_i^f + S_i^{\text{рем}}] \cdot \frac{F_i}{n} + [H_a \cdot S_k + S_k^{\text{рем}}] \cdot \frac{n_k}{n} + S_w \cdot V_w + \sum_{i=a,w,ip,k} N_i \cdot S_3, \quad (4)$$

где  $S_3$  — стоимость электроэнергии;  $S_w$  — стоимость охлаждающей воды;  $S_k$  — стоимость компрессора;  $S_k^{\text{рем}}$  — стоимость ремонта компрессора;  $n_k$  — число компрессоров;  $S_i^f$  — стоимость единицы поверхности конденсаторов воздушного и водяного охлаждения, испарителя;  $S_i^{\text{рем}}$  — стоимость ремонта единицы поверхности конденсаторов воздушного и водяного охлаждения, испарителя;  $F_i$  — поверхности конденсаторов воздушного и водяного охлаждения, испарителя;  $V_w$  — объемный расход воды в конденсаторах водяного охлаждения;  $N_i$  — мощность вентиляторов конденсаторов воздушного охлаждения, насосов для конденсаторов водяного охлаждения и испарителей, привода компрессоров;  $H_a$  — норма амортизационных отчислений;  $n$  — длительность температурного периода.

Критериями поиска параметрического анализа являются минимальные годовые и часовые экономические затраты на работу ХС (выражение (7) и (5) соответственно). Таким образом в ходе анализа определяется уточненная температура конденсации, при которой затраты будут минимальными. В результате анализа также определяются расходы охлаждающих сред, давление конденсации, ожидаемая мощность привода компрессора и др. характеристики ХС.

$$\mathcal{E}_i^{\min} = \min \mathcal{E}_i(T_k, G_w, G_a), \quad (5)$$

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i^{\min} \cdot n_i, \quad (6)$$

$$\mathcal{E}_{\text{рог}} = \min \mathcal{E}(X, \Delta t_{ip}), \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}_i^{\min}$  — минимальные экономические затраты ХС за час в текущем температурном периоде;  $\mathcal{E}$  — суммарные экономические затраты ХС всех тем-

пературных периодов;  $\mathcal{E}_{\text{рог}}$  — экономические затраты ХС в течение года;  $X$  — доля тепловой нагрузки конденсатора воздушного охлаждения;  $G_w, G_a$  — массовые расходы охлаждающих воды и воздуха в конденсаторах,  $\Delta t_{ip}$  — разность температур между охлаждаемой средой и температурой кипения в испарителе.

Для проведения расчета в широком диапазоне изменяющихся температур охлаждающих сред в соответствии с различными климатическими регионами размещения холодильной установки методика расчета реализована в виде программы в среде Embarcadero Delphi, состоящей из отдельных модулей. Программа моделирует работу холодильной установки как на уровне отдельных ее элементов, так и на уровне общих энергетических и экономических показателей.

## Результаты исследования

Проведен сравнительный анализ холодильного коэффициента ХС при различных температурах охлаждающего воздуха при комбинированном охлаждении конденсаторов, а также воздушном и водяном охлаждении. В холодильном коэффициенте ХС учитываются мощность компрессоров, вентиляторов и насосов конденсаторов.

На рис. 3 представлены результаты анализа предприятия г. Омска. Здесь видно, что область работы холодильной установки без компримирования хладагента располагается ниже минус 12°C (зоны 1 и 2). В зоне 1 холодильный коэффициент холодильной установки возрастает интенсивнее, поскольку часть вентиляторов для охлаждения конденсаторов отключается. В области работы холодильной установки с включенными компрессорами (зона 3) холодильный коэффициент холодильной установки имеет во всем диапазоне значения, близкие к максимально возможным при водяном и воздушном охлаждении. Это подтверждает возможность эффективной работы холодильной установки во всем диапазоне температур охлаждающих сред.

Поскольку критерием выбора оптимального давления конденсации в выражениях (5) – (7) является экономический показатель, то проводим анализ работы холодильной установки с такими же температурой кипения и холодопроизводительностью для климатических и экономических условий г. Берлина и г. Омска. Стоимость электроэнергии принята 21,45 руб./кВт в г. Берлине, в г. Омске 2,75 руб./кВт, стоимость пресной воды 195,65 руб./м³ в г. Берлине, в г. Омске 18 руб./м³ [18].

На рис. 4 показаны результаты расчета давления конденсации для регионов г. Омска и г. Берлина. Диапазон изменения температур окружающего воздуха в Берлине от 265 до 304 К, что существенно меньше, чем в Омске (от 228 до 308 К). В контуре 1 (рис. 4) находятся значения давления конденсации, соответствующие режиму естественной циркуляции, компрессоры отключены. Для Берлина такой режим работы неактуален, поскольку для его климата не характерны низкие температуры, вследствие чего весь годовой период холодильная установка работает с компримированием хладагента (рис. 4). Несмотря на значительную разницу экономических показателей области значений в контуре 2 имеют условно пологие характеристики в диапазоне температур от 260 до 279 К. Условно постоянное давление конденсации в этом диапазоне обеспечивается запасом теплообменной поверхности и возможностью увеличить расход охлаждающей среды. Причем в Омском

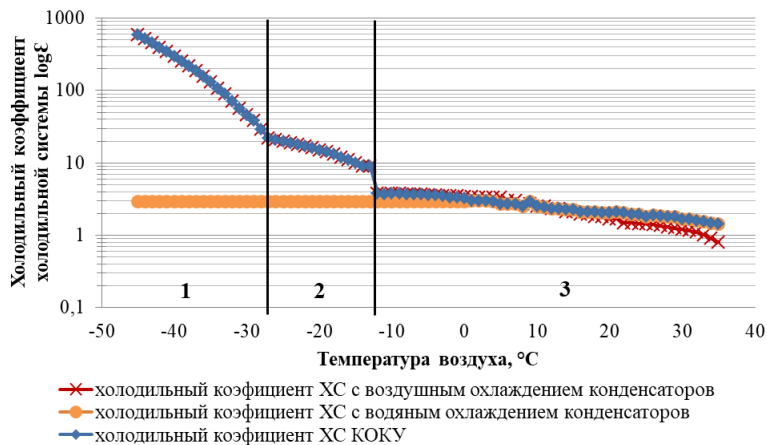


Рис. 3. Холодильный коэффициент ХС при различных температурах охлаждающего воздуха при комбинированном охлаждении конденсаторов, а также воздушном и водяном охлаждении  
 Fig. 3. Cooling coefficient ХС at different cooling air temperatures with combined cooling of condensers, as well as air and water cooling

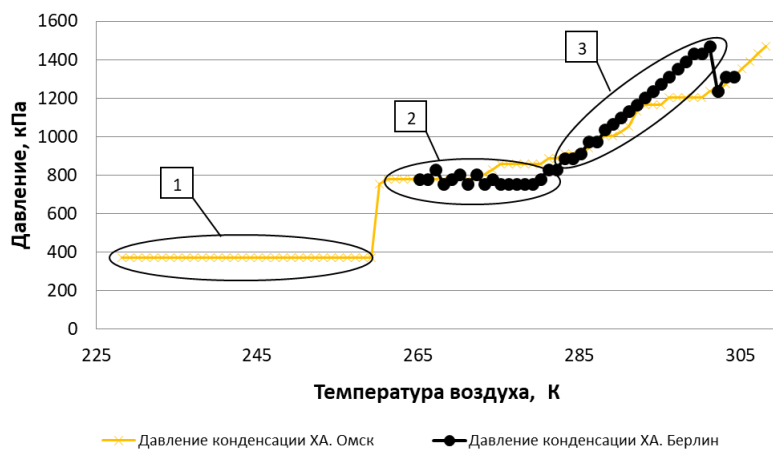


Рис. 4. Давление хладагента холодильной установки с комбинированным охлаждением конденсаторов  
 Fig. 4. Refrigerant pressure of a refrigeration unit with combined cooling of condensers

регионе охлаждение осуществляется совместно водяными и воздушными конденсаторами; в Берлине включены только конденсаторы воздушного охлаждения. Отношение стоимостей воды и электроэнергии в Берлине составляет 9,12, а в Омске 6,55. Таким образом, значения давлений конденсации в контуре 2 обуславливаются экономическими факторами в соответствующих регионах.

В диапазоне температур от 280 К и выше происходит увеличение давления конденсации. Это связано с включением максимально возможной поверхности аппаратов воздушного охлаждения, а включение аппаратов водяного охлаждения ограничивается более высокой стоимостью оборотной охлаждающей воды. В результате проведенного анализа ясно, что умеренное повышение давления конденсации, что влечет за собой повышение затрат на привод компрессора, экономически целесообразнее, чем значительное увеличение расхода охлаждающей воды. Причем в Берлине рост давления выражен сильнее, чем в Омске (контур 3). Это также объясняется более высоким значением отношения стоимостей воды и электроэнергии в Берлине, чем в Омске.

Начиная с температуры 280 К в Омске происходит постепенное увеличение расхода охлаждающей воды с одновременным уменьшением расхода воз-

духа. В Берлине включение конденсатора водяного охлаждения происходит при температуре 301 К с резким уменьшением расхода охлаждающего воздуха. Далее давление конденсации в Берлине принимает значения, близкие к Омскому региону.

### Выводы

Выполненный расчетный анализ холодильной установки с комбинированным охлаждением конденсаторов для регионов Омска и Берлина позволяет оценить особенности влияния экономических и климатических факторов на оптимальное давление конденсации для этих регионов. В результате анализа выявлены зоны, в которых определяющими факторами являются преимущественно климатические или экономические, причем отношение стоимостей охлаждающих сред так же существенно влияет на характер изменения давления конденсации в течение года.

Предложенный подход расчета и регулирования работы холодильной установки с комбинированным охлаждением конденсации позволяет учитывать как климатические, так и экономические факторы конкретного промышленного региона. Проектирование новых холодильных установок и модернизация суще-

ствующих с применением предложенного подхода позволяет достигать высоких экономических показателей, в том числе с прогнозными значениями климатических и экономических изменений.

#### Список источников

1. Арефьев Н. В., Можаяев Е. Е. Экономический анализ эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия и повышение энергетической эффективности объекта // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 1 (111). С. 12–14.
2. Борисов Г. С., Брыков В. П., Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва: Химия, 1991. 496 с.
3. Булатова Д. А. Оптимизация комбинированных систем охлаждения газоперерабатывающих и нефтеперерабатывающих производств: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2004. 224 с.
4. Январев И. А., Юша В. Л. Теплообменное оборудование и системы охлаждения компрессорных, холодильных и технологических установок. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 392 с. ISBN 5-8149-0245-0.
5. Медникова Н. М., Крамской Э. М., Данилова Г. Н. [и др.]. Теплообменные аппараты холодильных установок. Ленинград: Машиностроение, 1986. 303 с.
6. Чумак И. Г., Никульшина Д. Г. Холодильные установки. Киев: Выща школа, 1988. 280 с.
7. Юша В. Л., Максименко В. А., Фот А. Н. Особенности расчета последовательно включенных конденсаторов водяного и воздушного охлаждения с плавающим давлением конденсации // Вестник Международной академии холода. 2017. № 3. С. 28–34. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-28-34.
8. Машенко А. И., Цейтлин А. М. Экономия энергозатрат на привод компрессора холодильной машины судовой системы кондиционирования воздуха при использовании инвертора // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2013. № 2. С. 119–124.
9. Носков А. Н., Зимков А. А., Тарасенков Д. С. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора // Вестник Международной академии холода. 2015. № 4. С. 66–70.
10. Носков А. Н., Потапова Д. В. Анализ процесса нагнетания холодильного винтового компрессора на различных хладагентах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2015. № 1. С. 45–50.
11. Юша В. Л., Фот А. Н. Повышение энергоэффективности компрессорного оборудования холодильных машин с комбинированным воздушно-водяным охлаждением узла конденсации // Компрессорная техника и пневматика. 2019. № 1. С. 11–15.
12. Иванникова Т. В. Социальные и экологические аспекты проблемы водных ресурсов // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2015. Т. 15, № 1-3. С. 82–88.
13. Fumo N., Mago P. J., Chamra L. M. Energy and economic evaluation of cooling, heating, and power systems based on primary energy // Applied Thermal Engineering. 2009. Vol. 29 (13). P. 2665–2671. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.12.027.
14. Kong Y., Wang W., Huang X. [et al.] Wind leading to improve cooling performance of natural draft air-cooled condenser // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 136. P. 63–83. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.02.100.
15. Fot A. N. Calculation Features of the Combined Schemes of Cooling of Refrigeration Units Condensers // Problems of the Regional Energetics. 2018. Vol. 1 (36). P. 36–43.
16. Fot A. N., Yusha V. L. Relevance of condensation temperature determination for marine vapour-compression refrigeration system with a composite cooling of condensation unit // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2285 (1). 030081. DOI: 10.1063/5.0029065.
17. Пат. 101158 Российская Федерация, МПК F 25 В 1/00. Холодильная установка / Максименко В. А., Фот А. Н., Романенко Р. В., Евдокимов В. С. № 2010124528/06; заявл. 15.06.10; опубл. 10.01.11.
18. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).

---

**ФОТ Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».  
SPIN-код: 9664-2004  
AuthorID (РИНЦ): 684479  
ORCID: 0000-0002-1347-7006  
AuthorID (SCOPUS): 57191041377  
ResearcherID: U-1017-2018  
Адрес для переписки: [hein@list.ru](mailto:hein@list.ru)  
**МЕЛЬНИКОВ Даниил Константинович**, студент гр. Х-181 нефтехимического института.

#### Для цитирования

Фот А. Н., Мельников Д. К. Особенности расчета холодильных машин с комбинированным охлаждением конденсаторов с учетом климатических и экономических факторов // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 4. С. 17–23. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-4-17-23.

Статья поступила в редакцию 20.10.2021 г.  
© А. Н. Фот, Д. К. Мельников



# FEATURES OF CALCULATION OF REFRIGERATING MACHINES WITH COMBINED COOLING OF CONDENSERS TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC AND ECONOMIC FACTORS

A. N. Fot, D. K. Melnikov

Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

**A method for calculating refrigerating machines with a condensation unit implementing water and air cooling methods is proposed taking into account the economic and climatic features of the calculated region. Since economic and climatic factors have different degrees of influence on the energy efficiency and efficiency of refrigerating machines over the entire range of changing temperatures of cooling media, the results of calculating refrigerating machines according to the proposed methodology allow making informed decisions about the layout of the condensation unit both at the design stage and at the stage of developing a program for managing the refrigeration unit throughout the year. A comparative analysis of refrigerating machines with combined cooling of condensers for the regions of Omsk and Berlin is carried out. The most significant influence of the climatic factor at low temperatures of the cooling air and the influence of the cost of cooling water at high air temperatures were revealed.**

**Keywords:** combined cooling, condensation unit, water and air cooling, ecology, energy saving, mathematical model, refrigeration machine.

## References

1. Aref'yev N. V., Mozhayev E. E. Ekonomicheskiy analiz effektivnosti investitsiy v energosberegayushchiye meropriyatiya i povysheniye energeticheskoy effektivnosti ob'yekta [Economic analysis of investment efficiency in energy saving measures and increasing energy efficiency of the facility] // *Energoberezheniye i vodopodgotovka. Energoberezheniye i Vodopodgotovka*. 2018. No. 1 (111). P. 12–14. (In Russ.).
2. Borisov G. S., Brykov V. P., Dytnerkiy Yu. I. Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, 1991. 496 p. (In Russ.).
3. Bulatova D. A. Optimizatsiya kombinirovannykh sistem okhlazhdeniya gazopererabatyvayushchikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv [Optimization of combined cooling systems for gas and oil refineries]. Moscow, 2004. 224 p. (In Russ.).
4. Yanvarev I. A., Yusha V. L. Teploobmennoye oborudovaniye i sistemy okhlazhdeniya kompressornykh, kholodil'nykh i tekhnologicheskikh ustanovok [Heat exchange equipment and cooling systems for compressor, refrigeration and technological units]. Omsk, 2005. 392 p. ISBN 5-8149-0245-0. (In Russ.).
5. Mednikova N. M., Kramskoy E. M., Danilova G. N. [et al.]. Teploobmennyye apparaty kholodil'nykh ustanovok [Heat exchangers for refrigeration units]. Leningrad, 1986. 303 p. (In Russ.).
6. Chumak I. G., Nikul'shina D. G. Kholodil'nyye ustanovki [Refrigeration units]. Kiev, 1988. 280 p. (In Russ.).
7. Yusha V. L., Maksimenko V. A., Fot A. N. Osobennosti rascheta posledovatel'no vkluchennykh kondensatorov vodyanogo i vozdušnogo okhlazhdeniya s plavayushchim davleniyem kondensatsii [Calculation of series water and air cooling condensers with floating condensation pressure] // *Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda. Journal of International Academy of Refrigeration*. 2017. No. 3. P. 28–34. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-28-34. (In Russ.).
8. Mashchenko A. I., Tseytlin A. M. Ekonomiya energozatrat na privod kompressora kholodil'noy mashiny sudovoy sistemy konditsionirovaniya vozdukh pri ispol'zovanii invertora [Economy of power inputs on the compressor drive of the refrigerator of the ship system of air conditioning using inverter] // *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: morskaya tekhnika i tekhnologiya. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2013. No. 2. P. 119–124. (In Russ.).
9. Noskov A. N., Zimkov A. A., Tarasenkov D. S. Regulirovaniye proizvoditel'nosti kholodil'nogo vintovogo kompressora [Capacity control of refrigeration screw compressor] // *Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda. Journal of International Academy of Refrigeration*. 2015. No. 4. P. 66–70. (In Russ.).
10. Noskov A. N., Potapova D. V. Analiz protsessa nagnetaniya kholodil'noy vintovogo kompressora na razlichnykh khladagentakh [Discharge process analysis of screw refrigeration compressor with different refrigerants] // *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye». Scientific Journal NRU ITMO. Series «Refrigeration and Air Conditioning»*. 2015. No. 1. P. 45–50. (In Russ.).
11. Yusha V. L., Fot A. N. Povysheniye energoeffektivnosti kompressornogo oborudovaniya kholodil'nykh mashin s kombinirovannym vozdušno-vodyanym okhlazhdeniyem uzla kondensatsii [Increase of energy efficiency of compressed equipment of refrigerating machines with combined air-water cooling of condensation site] // *Kompressornaya tekhnika i pnevmatika. Compressor Technology and Pneumatics*. 2019. No. P. 11–15. (In Russ.).
12. Ivannikova T. V. Sotsial'nyye i ekologicheskiye aspekty problemy vodnykh resursov [Social and ecological aspects of problem of water resources] // *Vestnik Donskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. Vestnik of Don State Agrarian University*. 2015. Vol. 15, no. 1-3. P. 82–88. (In Russ.).
13. Fumo N., Mago P. J., Chamra L. M. Energy and economic evaluation of cooling, heating, and power systems based on primary energy // *Applied Thermal Engineering*. 2009. Vol. 29 (13). P. 2665–2671. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.12.027. (In Engl.).
14. Kong Y., Wang W., Huang X. [et al.] Wind leading to improve cooling performance of natural draft air-cooled condenser // *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 136. P. 63–83. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.02.100. (In Engl.).
15. Fot A. N. Calculation Features of the Combined Schemes of Cooling of Refrigeration Units Condensers //

Problems of the Regional Energetics. 2018. Vol. 1 (36). P. 36–43. (In Engl.).

16. Fot A. N., Yusha V. L. Relevance of condensation temperature determination for marine vapour-compression refrigeration system with a composite cooling of condensation unit // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2285 (1). 030081. DOI: 10.1063/5.0029065. (In Engl.).

17. Patent 101158 Russian Federation, IPC F 25 B 1/00. Kholodil'naya ustanovka [Refrigeration unit] / Maksimenko V. A., Fot A. N., Romanenko R. V., Evdokimov V. S. No. 2010124528/06. (In Russ.).

18. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring]. URL: <http://meteo.ru/> (accessed: 14.08.2018). (In Russ.).

---

**FOT Andrey Nikolayevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Refrigeration and Compressor Equipment and Technology Department.

SPIN-code: 9664-2004

AuthorID (RSCI): 684479

ORCID: 0000-0002-1347-7006

AuthorID (SCOPUS): 57191041377

ResearcherID: U-1017-2018

Correspondence address: hein@list.ru

**MELNIKOV Daniil Konstantinovich**, Student gr. Kh-181 of Petrochemical Institute.

#### For citations

Fot A. N., Melnikov D. K. Features of calculation of refrigerating machines with combined cooling of condensers taking into account climatic and economic factors // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2021. Vol. 5, no. 4. P. 17–23. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-4-17-23.

Received October 20, 2021.

© A. N. Fot, D. K. Melnikov