

## METHOD OF CALCULATION OF CHILLERS WITH COMBINED-COOLED CONDENSER

**Fot A.N., Vasiliev V.K.**

*Omsk State Polytechnic University, Russian Federation*

**Abstract.** Combined cooling of condenser ensures stabilization of the condensation pressure and significantly reduces the consumption of cooling water and electricity. Existing methods of calculus of condensers are applicable for condensers with air or with water cooling and are not valid when designing a condenser with combined cooling. The economical and technical recommendations for calculus must be elaborated in dependence of part of the time of using water or air for condenser unit cooling throughout the year. The mathematical model describing the operation of all elements of the chiller, as well as their technical and economic performances has been elaborated. The model includes analysis of the chiller during the whole period of operation and determines what share of water and air for cooling of condenser is the best. The analysis takes into account the cost of cooling water, power, energy costs for transporting the cooling water, for compressor drive, as well as the capital and operating costs.

**Keywords:** combined cooling, condensing unit, water and air cooling, the environment, energy savings, the mathematical model, the chiller.

### ELABORAREA METODOLOGIEI DE CALCUL AL MAȘINII FRIGORIFICE CU BLOCUL DE CONDENSARE CU RĂCIRE COMBINATĂ

**Fot A.N., Vasiliev V.C.**

*Universitatea națională Politehnică din Omsk, Federația Rusă*

**Rezumat.** Răcirea combinată a condensatorului mașinii frigorifice asigură posibilitatea de a stabili presiunea de condensare și de a reduce în mod semnificativ consumul apei de răcire și energiei electrice. Metodele de calcul ale condensatoarelor existente permit de a proiecta condensatoarele de răcire cu apă ori cu aer, dar asigură corectitudinea necesară la proiectarea elementelor de condensare în cazul utilizării răcirii combinate. Pentru a avea recomandări tehnice și economice justificate privind cotele de apă și aer utilizate în procesele de răcire este necesar de a avea rezultatele studiului de funcționare a unui astfel de agregat pe parcursul unui an. În acest context s-a elaborat modelul matematic, care descrie funcționarea a tuturor elementelor mașinii frigorifice, precum și aspectele tehnice și economice în ansamblu. Efectuarea analizei regimurilor de funcționare a mașinii frigorifice pe întreaga perioadă de exploatare permite determinarea raportului optimal a cotelor de apă și aer în procesul de răcire în condensator ce asigură cel mai performant rezultat. În baza rezultatelor unei astfel de analize se ia decizia privind soluția optimală de proiectare a condensatorului cu răcire combinată, se elaborează graficul de variație a debitului de aer și apă a condensatorului pe parcursul anului. În cadrul analizei se ia în considerare costul apei de răcire, energia electrică, cheltuielile privind transportul agenților de răcire, acționarea compresorului, precum cheltuielile investiționale și de exploatare.

**Cuvinte-cheie:** răcire combinată, condensator, apă, aer, ecologie, economisire resurse, model matematic, refrigerator.

### РАЗРАБОТКА СПОСОБА РАСЧЕТА ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН С УЗЛОМ КОНДЕНСАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

**Фот А. Н., Васильев В.К.**

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Комбинированное охлаждение узла конденсации позволяет стабилизировать давление конденсации и существенно сократить потребление охлаждающей воды и электроэнергии. Существующие методики расчета конденсаторов позволяют оптимально проектировать конденсаторы с водяным или воздушным охлаждением и не могут быть корректны при проектировании узла конденсации комбинированного охлаждения. Для технически и экономически обоснованных рекомендаций по доле участия в охлаждении конденсаторов воды и воздуха требуется анализ работы такой холодильной машины в течение года. Для этого разработана математическая модель, описывающая работу всех элементов холодильной машины, а так же их технические, и экономические показатели. Проводя анализ работы холодильной машины в течение всего периода эксплуатации, определяем, какая доля участия воды

и воздуха в охлаждении конденсаторов является наилучшей. По результатам такого анализа принимаются решения о проектировании оптимального комбинированного конденсатора, а так же составляется график регулирования расходов воды и воздуха в течении года. В анализе учитываются стоимость охлаждающей воды, электроэнергии, энергетические затраты на транспортировку охлаждающих сред, на привод компрессоров, а так же капитальные и эксплуатационные затраты.

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

## **Введение**

Мировая практика применения конденсаторов в холодильных машинах показывает некоторую динамику в сторону замены конденсаторов водяного охлаждения на аппараты воздушного охлаждения. Такое положение обусловлено экономическими и экологическими соображениями. Подробнее эти вопросы рассмотрены в литературе [2, 3, 4, 7].

Несмотря на очевидные преимущества с точки зрения экологичности применение аппаратов воздушного охлаждения не всегда может быть оправдано по экономическим соображениям. Поэтому предлагается схема комбинированного охлаждения узла конденсации водой и воздухом, причем степень участия той или иной охлаждающей среды в теплообмене предлагается определить на основе технико-экономического анализа работы целой системы, т.е. всех узлов холодильной машины на всем диапазоне параметров охлаждающих сред.

Для этого на кафедре КХМУ при ОмГТУ разработана математическая модель расчета холодильной машины с комбинированным охлаждением узла конденсации [7, 8, 9].

Существующие автоматизированные методы расчета холодильных машин реализуют известные зависимости и рекомендации для проектирования холодильных машин и их отдельных элементов [10, 11, 12]. В исходных данных таких программ присутствуют величины, заведомо определяющие эффективность работы холодильной установки, т.е. рассчитанная холодильная машина будет заведомо неэффективна при некоторых значениях исходных данных. Так же существующие математические модели на рассматривают схемы холодильных машин с узлом конденсации комбинированного охлаждения.

Отличием разработанной математической модели является то, что в качестве исходных данных принимаются холодопроизводительность системы, стоимость потребляемых ресурсов, а так же климатические данные региона расположения холодильной машины. Расчет предполагает использование в качестве охлаждающих сред и воздух и воду. В результате расчета формируются оптимальные решения для проектирования холодильной машины, т.е. оптимально подобранные элементы холодильной машины и оптимальные режимы их работы в течение года.

## **Содержание работы**

Для решения поставленной задачи использован принцип системного подхода, который подразумевает выполнение следующих последовательных действий: представление холодильной системы как совокупности элементарных единиц, описание их основных характеристик, а затем синтез элементов в единое целое. Параметры элементарных единиц загружаются из базы данных аппаратов, находящихся в серийном производстве.

Характеристики элементов получают в результате математического моделирования процессов в них. Для теплообменных аппаратов это зависимости, описывающие процессы теплопередачи, для компрессоров – объемные и

энергетические коэффициенты, характеризующие эффективность компрессора и зависящие от многих технических и режимных параметров.

Для моделирования характеристик основных теплообменных аппаратов отобраны зависимости, которые дают наиболее достоверный результат по каждому типу аппарата. Эти зависимости помещены в модули, к которым впоследствии обращается САПР. Данный блок получает от управляющей программы в качестве входных параметров рабочее вещество, тип процесса и режим течения. По этим данным подбирается расчетное уравнение и на выходе программный модуль выдает значение коэффициентов, определяющие характер теплообмена и геометрические параметры теплообменного аппарата (содержащиеся в базе данных аппаратов).

В качестве первого элемента САПР был разработан программный модуль расчета характеристик теоретического цикла, имеющий самостоятельное значение, так как он дает первичное представление о холодильном цикле. При расчете элементов холодильной установки холодильный цикл корректируется для соответствия текущему режиму эксплуатации холодильной установки.

В основу была положена разработанная и протестированная универсальная методика расчета холодильного цикла.

Данная методика позволяет выбрать:

- Хладагент
- Основное и вспомогательное теплообменное оборудование
- Компрессорное оборудование

Выбор хладагента весьма важен, так как его свойства во многом определяют основные размеры и характеристики выбираемых аппаратов. Расчет свойств хладагентов производится при помощи специализированной базы данных REFPROP.

После выбора рабочего вещества составляется баланс материальных и энергетических потоков в рабочих элементах холодильной машины.

Интерфейс программы написан на объектно-ориентированном языке Delphi с элементами SQL, подключаемой базой данных MicrosoftAccess и библиотекой REFPROP [13].

В закладках:

1. Настройка смеси – определяются вещества, используемые в холодильной установке.
2. Входные данные – задается нагрузка, стоимость ресурсов и регион расположения холодильной машины.

**Таблица 1. Результаты расчета**

ITERATION	temperature[K]	pressure[kPa]	enthalpy[J/mol]	Hkg
1	272,15	481,98	34991,62	404677,2
2	279,15	481,98	35433,64	409789,1
3	299,15	472,341	36695,14	424378,3
4	366,604	1717,609	39900,47	461447,9
5	366,604	1533,57	40071,63	463427,3
6	313,15	1533,57	21586,43	249646,6
7	308,15	1533,57	21015,31	243041,6
8	296,68	1533,57	19753,82	228452,4
9	272,15	481,98	19753,82	228452,4

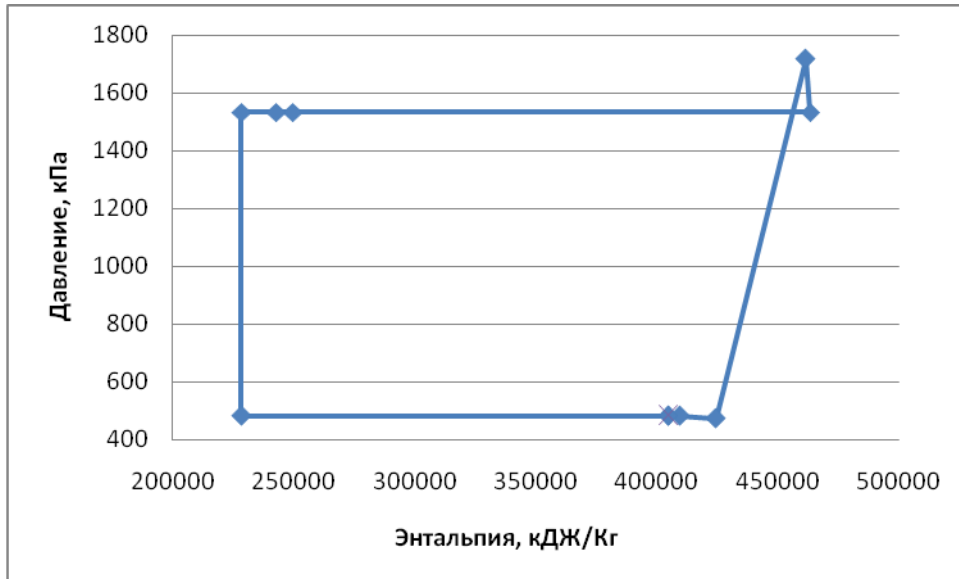


Рис. 1. Цикл холодильной установки

Таблица 2. Конденсатор воздушного охлаждения

Qkond [Вт]	Tlog [K]	tw1 [K]	tw2 [K]	Alfas [Вт / М <sup>2</sup> К]	Alfaa [Вт / М <sup>2</sup> К]	Fvn [М <sup>2</sup> ]	Fnar [М <sup>2</sup> ]	FnarR [М <sup>2</sup> ]
34669,31	1,66	297,15	303,27	2418,38	823,71	38	50	44,95

Таблица 3. Испаритель

Ws [м/с]	GSA [Па]	FNARR [М <sup>2</sup> ]	FNAR [М <sup>2</sup> ]	FVN [М <sup>2</sup> ]	TS_IN [K]	TS_OUT [K]	Alfaa [Вт / М <sup>2</sup> К]	Alfas [Вт / М <sup>2</sup> К]
0,85	49789	34,83	45	34,2	286,46	278,15	1378,08	2959,35

## Выводы

Предложена математическая модель, позволяющая рассчитывать холодильные машины с узлом конденсации комбинированного охлаждения. Предложенный способ расчета позволяет оптимально выбирать компоненты холодильной машины, а так же режимы их работы, обеспечивая при этом минимальную стоимость производимого холода.

В математической модели учитываются особенности климатических условий и стоимостей энергоресурсов региона, в котором располагается холодильная машина.

Результаты расчетов позволят оптимизировать программы систем автоматизированного управления холодильной установки для достижения минимума стоимости производимого холода в течении всего периода работы холодильной установки.

## Литература

- [1] Kuryliov E.S. Holodilinye ustanovki/ E.S. Kuryliov. – L.: Mashinostroenie, 1980. – 622 s.

- [2] Petrov E.T. Perspektivnye shemy hladosnabjenia s kondensatorami vozdušnogo ohlajdenia (VNII inform i tehn - ekonom issled agroprom kompleksa)/ E.T. Petrov. – M. :AgroNIITEIMMP, 1987. – 26 s. (in Russian)
- [3] Putilin S.A. Vliianie peregreva para hladaghenta na harakteristiki kondensatorov s vozdušnym ohlajdeniem: avtoref. diss. kand. tehn. nauk. L., 1982. – 16 s. (in Russian)
- [4] Petrov E.T. Osobennosti avtomatizirovannogo proektirovania sistem hladosnabjenia predpriatii bolishoi moschnosti. [Elektronny resurs] – Rejim dostupa: <http://www.refropkb.ru/Download/Article.php.2002>. (in Russian)
- [5] Teploobmennoe oborudovanie i sistemy ohlajdenia kompressornyh, holodilinyh i tehnologhicheskikh ustanovok [Text] : uchebnoe posobie dlea vuzov po napravleniu 150800 "Ghidravlicheskaia, vakkuumnaia i kompressornaia tehnika" / I. A. Ianvarev, V. L. Iusha, V. P. Parfenov i dr. - Omsk : Izd-vo OmGTU, 2005. - 392 s. (in Russian)
- [6] Shmerkovich V.M. Apparaty vozdušnogo ohlajdenia dlea tehnologhicheskikh ustanovok neftepererabatyvaiuschih i himicheskikh zavodov. Konstruirovanie, isledovanie, opyt ekspluatatsii. M. 1967g. (in Russian)
- [7] Maksimenko V.A., Fot A. N. Konbinirobannoe ohkajdenie uzka kondensatsii kompressionnyh holodilinyh ustanovok. // Problemy regionalnoi energhetiki. – Nr.3 (17). – 2011 Institut energhetiki ANM :<http://journal.ie.asm.md/> (in Russian)
- [8] V.A. Maksimenko, A. N. Fot и др. Osobennosti proektirovania holodilinyh ustanovok s uzlom kondensatsii kombinirovannogo ohlajdenia //Omskii nauchnyi vesnik. Seria «Pribory, mashiny i tehnologhii»: – Nr.1 (107). – 2012. -s.218-222 (in Russian)
- [9] Maksimenko V.A., Fot A. N. Energoberejenie na holodilinyh ustanovkah neftehimicheskikh predpriatii s uzlom kondensatsii kombinirovannogo ohlajdenia. // Energoberejenie v teploelektroenerghetike i teploelektrotehnologhiah. Materialy Mejdunarod. nauch. konf. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. - s.127-129 (in Russian)
- [10] I.M. Kalnini, P.S. Poleakov. Razrabotka avtomatizirovannogo metoda rascheta harakteristik parokompressionnyh holodilinyh sistem/ / Holodilinaia tehnika. - 2010. – Nr. 9. - s. 57-62. (in Russian)
- [11] CoolPack v. 1.46. Copyright 2000 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark.
- [12] Solkane Refrigerant Software v.6.0.1.6. Copyright Solvay Fluor GmbH Technical Service – Refrigerant PO Box 220.
- [13] Universalinaia baza dannyh rabochih veschestv REFPROP 8. Copyright NIST. (in Russian)
- [14] Piacentino, A.; Cardona, F. EABOT—Energetic analysis as a basis for robust optimization oftrigeneration systems by linear programming. Energy Convers. Manag. 2008, 49, pp. 3006–3016.
- [15] Wang, J.J.; Zhai, Z.Q.; Jing, Y.Y.; Zhang, X.T.; Zhang, C.F. Influence analysis of building types and climate zones on energetic, economic and environmental performances of BCHP systems. Appl. Energy 2011, 88, pp. 3097–3112.
- [16] Wang, J.J.; Zhai, Z.Q.; Jing, Y.Y.; Zhang, X.T.; Zhang, C.F. Sensitivity analysis of optimal model on building cooling heating and power system. Appl. Energy 2011, 88, pp. 5143–5152.
- [17] Piacentino, A.; Cardona, F. An original multi-objective criterion for the design of small-scale polygeneration systems based on realistic operating conditions. Appl. Therm. Eng. 2008, 28, pp.2391–2404.

- [18] Minciuc, E.; Le Corre, O.; Athanasovici, V.; Tazerout, M. Fuel savings and CO2 emissions for tri-generation systems. *Appl. Therm. Eng.* 2003, 23, pp.1333–1346.
- [19] Carvalho, M.; Lozano, M.A.; Serra, L.M. Multicriteria synthesis of trigeneration systems considering economic and environmental aspects. *Appl. Energy* 2012, 91, pp.245–254.
- [20] Fumo, N.; Mago, P.J.; Chamra, L.M. Emission operational strategy for combined cooling, heating, and power systems. *Appl. Energy* 2009, 86, 2344–2350.
- [21] Fumo, N.; Mago, P.J.; Chamra, L.M. Energy and economic evaluation of cooling, heating, and power systems based on primary energy. *Appl. Therm. Eng.* 2009, 29, pp. 2665–2671.
- [22] Chicco, G.; Mancarella, P. Trigeneration primary energy saving evaluation for energy planning and policy development. *Energy Policy* 2007, 35, pp. 6132–6144.

**Сведения об авторах:**



**Васильев Владимир Константинович;** доктор технических наук, профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: энергоресурсосберегающие технологии низкотемпературной и компрессорной техники.



**Фот Андрей Николаевич.** Старший преподаватель кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: комбинированное охлаждение конденсаторов холодильных машин, снижение энергетических затрат на производство холода.  
E-mail: [hein@List.ru](mailto:hein@List.ru).