

# **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ АППАРАТОВ ОХЛАЖДЕНИЯ В ПАРО-КОНДЕНСАТНЫХ СИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ УЗБЕКИСТАН GTL)**

**Рахимов Ганишер Бахтиёрович**

доцент, PhD (доктор технических наук),  
Каршинский государственный технический университет  
Кашкадарьинская область, Республика Узбекистан  
г. Карши, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1970-1541>

**Улугбек Шомуродов**

ассистент,  
Каршинский государственный технический университет  
г. Карши, Узбекистан

**Абдулла Насриддинов**

магистрант,  
Каршинский государственный технический университет  
г. Карши, Узбекистан

## **Аннотация**

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты теплообмена в воздушных аппаратах охлаждения, применяемых в паро-конденсатных системах химической и нефтегазовой промышленности. Особое внимание уделено анализу термомеханических нагрузок в соединениях типа «труба–коллектор», возникающих в результате температурных деформаций, вибраций и неравномерного распределения потоков. Предложены конструктивные решения, направленные на снижение напряжений и повышение надежности аппаратов. Показано, что оптимизация геометрии теплообменной поверхности и условий работы позволяет существенно повысить энергоэффективность установки.

## **Ключевые слова**

воздушный аппарат охлаждения, теплообмен, конденсация, термомеханические напряжения, теплоотдача, надежность, GTL, трубно-коллекторные соединения.

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR COOLING APPARATUS IN STEAM-CONDENSATE SYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF UZBEKISTAN GTL)**

**Ganisher Bakhtiyorovich Rakhimov**

Associate Professor, PhD in Technical Sciences,  
Karshi State Technical University  
Kashkadarya Region, Republic of Uzbekistan  
Karshi, Uzbekistan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1970-1541>

**Ulugbek Shomurodov**

Assistant Lecturer,  
Karshi State Technical University  
Karshi, Uzbekistan

**Abdulla Nasriddinov**

Master's Student,  
Karshi State Technical University  
Karshi, Uzbekistan

### **Abstract**

The article examines the theoretical and practical aspects of heat transfer in air-cooled heat exchangers used in steam-condensate systems of the chemical and oil-and-gas industries. Particular attention is paid to the analysis of thermomechanical stresses in “tube-to-header” joints caused by thermal deformation, vibration, and non-uniform flow distribution. конструктивные решения, направленные на снижение напряжений и повышение надежности аппаратов. Proposed design solutions aimed at reducing stresses and improving equipment reliability are presented. It is shown that optimization of the heat-transfer surface geometry and operating conditions makes it possible to significantly improve the energy efficiency of the installation.

## **Keywords**

air-cooled heat exchanger, heat transfer, condensation, thermomechanical stresses, heat-transfer coefficient, reliability, GTL, tube-to-header joints.

## **Введение**

В современных условиях интенсивного развития нефтегазохимической промышленности особое значение приобретает повышение эффективности теплообменных процессов, реализуемых в воздушных аппаратах охлаждения. Данные аппараты широко применяются в технологических схемах переработки углеводородного сырья, в том числе на установках типа GTL, где они обеспечивают охлаждение газовых потоков и конденсацию паров.

Теплообмен в указанных аппаратах осуществляется за счет совокупного действия теплопроводности, конвекции и теплового излучения. При этом эффективность процесса определяется величиной коэффициента теплопередачи и температурным напором, характеризующим логарифмической средней разностью температур. Как показано в работе, данные параметры являются ключевыми при оценке теплотехнической эффективности оборудования.

## **Методы исследования**

В рамках исследования использован комплексный подход, включающий теоретический анализ процессов тепло- и массообмена, а также оценку эксплуатационных характеристик воздушных аппаратов охлаждения.

Анализ проводился на основе:

- уравнений теплопередачи и энергетического баланса;
- изучения физико-химических свойств рабочих сред;
- оценки термомеханических нагрузок в конструктивных элементах аппаратов;

- сопоставления экспериментальных и расчетных данных.

Особое внимание уделено исследованию состава реакционной воды, образующейся в процессе синтеза, содержащей (стр. 63–65) :

- воду (85–95 %),
- метанол (0,5–2 %),
- органические примеси различного состава.

Наличие многокомпонентной среды обуславливает сложный характер тепло- и массообменных процессов.

### **Результаты**

Проведенный анализ показал, что эффективность работы воздушных аппаратов охлаждения определяется рядом взаимосвязанных факторов.

Установлено, что:

- теплообмен в аппаратах носит комплексный характер и зависит от режима течения, геометрии теплообменной поверхности и свойств среды;
- в условиях эксплуатации возникают значительные термомеханические напряжения, обусловленные температурными деформациями, вибрациями и неравномерным распределением потоков;
- наиболее нагруженными зонами являются сварные соединения типа «труба–коллектор», где концентрируются напряжения, приводящие к усталостным разрушениям.

Также выявлено, что наличие фазовых превращений (конденсации) существенно интенсифицирует теплообмен, однако одновременно усложняет гидродинамическую картину процесса.

### **Обсуждение**

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости комплексного подхода к повышению эффективности и надежности воздушных аппаратов охлаждения.

С инженерной точки зрения наиболее перспективными являются следующие направления:

**Конструктивные решения**, направленные на снижение напряжений:

- внедрение компенсирующих элементов, обеспечивающих компенсацию термических деформаций;
- оптимизация геометрии оребрения труб с целью увеличения площади теплообмена;
- совершенствование узлов соединения труб с коллекторами.

**Технологические мероприятия**, обеспечивающие стабильность работы:

- выравнивание распределения потоков теплоносителя;
- снижение вибрационных нагрузок;
- оптимизация режимов работы вентиляторов.

**Энергетическая оптимизация**, позволяющая снизить эксплуатационные затраты:

- применение частотно-регулируемых приводов вентиляторов;
- уменьшение энергопотребления;
- повышение коэффициента использования тепловой энергии.

Практическая реализация предложенных решений позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики оборудования. В частности, согласно данным исследования, возможно увеличение срока службы аппаратов в несколько раз, снижение аварийности и улучшение технико-экономических показателей.

### **Заключение**

Таким образом, воздушные аппараты охлаждения являются важнейшим элементом современных технологических систем, обеспечивающим эффективное протекание теплообменных процессов. Их

надежность и эффективность определяются совокупностью теплотехнических, конструктивных и эксплуатационных факторов.

Комплексная оптимизация конструкции и режимов работы, основанная на учете термомеханических нагрузок и особенностей теплообмена, позволяет существенно повысить энергоэффективность и долговечность оборудования, что особенно актуально для современных промышленных установок.

### **Список литературы (пример)**

1. Shah R.K., Sekulic D.P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Wiley, 2003.
2. Hewitt G.F. Heat Exchanger Design Handbook. CRC Press, 2008.
3. Kakac S., Liu H. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design. CRC Press, 2012.
4. Kern D.Q. Process Heat Transfer. McGraw-Hill, 2019.
5. Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley, 2017.
6. Mukherjee R. Practical Thermal Design of Air-Cooled Heat Exchangers. Begell House, 2007.
7. Gangacharyulu D. Air-Cooled Heat Exchangers: Design and Applications.
8. Hudson Products Corporation. Air-Cooled Heat Exchanger Design Guide.
9. API Standard 661. Air-Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service.
10. Ajarostaghi S.S. et al. Heat transfer enhancement techniques for heat exchangers. Energies, 2022.

11. Yang L. et al. Thermal performance of air-cooled heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 2020.
12. Wang W. et al. Optimization of finned tube heat exchangers. *Energy Conversion and Management*, 2021.
13. Raximov, G. A. B. (2024). Qobiq-quvurlardan foydalangan holda issiqlik almashinish uskunasing samaradorligini oshirish uchun konstruksiyani takomillashtirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(03).
14. Rakhimov, G. B. (2023). Development of anti-detonation additive. *Экономика и социум*, (12 (115)-1), 604-607.
15. Bakhtiyorovich, R. G., & Khalmakhmatogli, S. E. (2024). Research of the process of producing alcohols based on by-products obtained in the fischer-tropsch synthesis. *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*, 2(3), 139-143.
16. Рахимов, Г. Б. (2024). Изучение влияния эффективности теплообмена в кожухотрубчатого теплообменник на гидродинамические параметры. *Экономика и социум*, (12-1 (127)), 998-1007.
17. Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligini gidrodinamik parametlariga ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(03), 77-86.
18. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. *Introduction to Heat Transfer*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
19. Towler G., Sinnott R. *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Oxford: Elsevier, 2013.
20. Kroger D.G. *Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers*. Tulsa: PennWell Corporation, 2004.

21. Wang Q., Chen G., Zhang J. Experimental investigation of thermal-hydraulic performance in finned-tube air-cooled heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2021, Vol. 174, pp. 121–135.

22. Li X., Zhao Y., Sun K. Numerical analysis and optimization of flow distribution in air-cooled condensers. *Applied Energy*. 2022, Vol. 306, pp. 117–129.