



РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С ПЛАВАЮЩЕЙ ГОЛОВКОЙ ДЛЯ НАГРЕВА АБРИКОСОВОГО СОКА

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19007007>

Хаджибаев Акбаржон Шавкатович

Носиров Мурод Илхомович

Шокиров Аслиддин Пазлитдин угли

Жобборова Мафтуна Акром кизи

Аннотация: В статье рассматривается расчёт и проектирование кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой, предназначенного для нагрева абрикосового сока водяным паром. Выполнен тепловой расчёт аппарата, в ходе которого определены расход теплоты, расход греющего пара и необходимая площадь поверхности теплообмена. Проведён уточнённый расчёт коэффициентов теплоотдачи и общего коэффициента теплопередачи. Также выполнен гидравлический расчёт, включающий определение потерь напора, режима течения жидкости и подбор трубопровода и насосного оборудования. В механической части произведён расчёт основных элементов аппарата: цилиндрической обечайки, эллиптической крышки, штуцеров и фланцевых соединений. По результатам расчётов выбран стандартный кожухотрубчатый теплообменник, обеспечивающий эффективный нагрев абрикосового сока и соответствующий требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: теплообменник, кожухотрубчатый теплообменник, плавающая головка, тепловой расчёт, гидравлический расчёт, механический расчёт, теплопередача, абрикосовый сок, водяной пар, процессы и аппараты химической технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В пищевой промышленности процессы нагрева и пастеризации соков требуют применения эффективного и надёжного теплообменного оборудования. Одним из наиболее распространённых аппаратов является кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой, который обеспечивает высокую

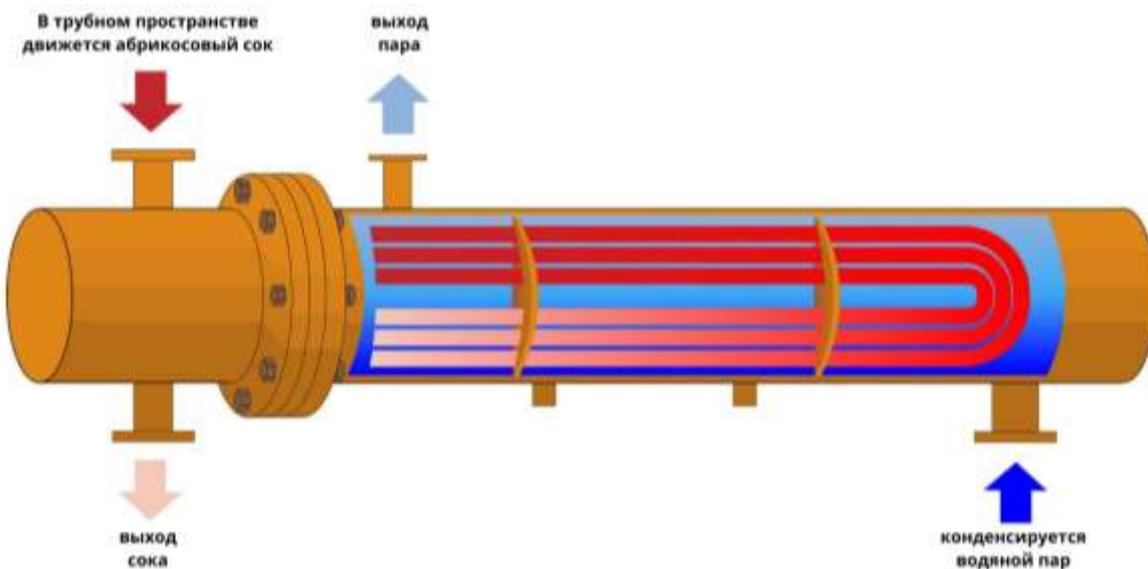
теплопередачу и компенсирует температурные деформации трубного пучка.

В данной статье представлен тепловой, гидравлический и механический расчёт кожухотрубчатого теплообменника, предназначенного для нагрева абрикосового сока насыщенным водяным паром.

1. Тепловой расчёт



- В проектируемом аппарате:
 - В трубном пространстве движется абрикосовый сок;
 - В межтрубном пространстве конденсируется водяной пар.



Температура конденсации греющего пара принимается по справочным данным.

Температура конденсации водяного пара $t_{\text{конд}} = 119,5^{\circ}\text{C}$; $\rho_{\text{п}} = 0,92\text{кг/см}^2$;

$$r_n = 2209,678 \text{ кДж/кг}$$

Температурная схема:

$$119,5 \rightarrow 119,5$$

$$21 \rightarrow 102$$

$$\Delta t_{\text{г}} = 98,5; \Delta t_{\text{м}} = 17,5$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

Тогда:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{98,5 - 17,5}{\ln 5,63} = 46,9^{\circ}\text{C}$$

Средняя температура сока:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_{\text{ср}} = 119,5 - 46,9 = 72,6^{\circ}\text{C}$$

Свойства сока при $t_2 = 72,6^{\circ}\text{C}$

$$\rho_2 = 1040 \text{ кг/м}^3; \mu_2 = 0,6 \text{ мПа} \cdot \text{с}; c_2 = 3780 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}; \lambda_2 = 0,54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{К}; \text{Pr}=4,2$$

$$\text{Массовый расход: } G_2 = 54000/3600 = 15 \text{ кг/с}$$

$$\text{Объемный расход сока: } V_2 = G_2/\rho_2 = 15/1040 = 0,00144 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход теплоты на нагрев сока:

$$Q = G_2 c_2 (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}) = 15 \cdot 3780 \cdot (102 - 21) = 4592700 \text{ Вт}$$



Расход греющего пара с учетом 5% потерь теплоты:

$$G_1 = \frac{1,05Q}{r} = \frac{1,05 \cdot 4592700}{2209678} = 2,18 \text{ кг/с}$$

Определяем ориентировочно величину площади поверхности теплопередачи:

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{4592700}{340 \cdot 46,9} \approx 288 \text{ м}^2$$

Ориентировочная площадь поверхности теплообмена определяется по уравнению теплопередачи.

Согласно стандартам (ГОСТ 14246-79 и ГОСТ 14247-79) минимальная площадь теплообменника составляет 10 м², поэтому принимается стандартный аппарат соответствующей площади.

$$D = 1000 \text{ мм}; n = 666; d = 25 \times 2 \text{ мм}; z = 4; L = 6 \text{ м}; f = 301 \text{ м}^2$$

2. Уточнённый тепловой расчёт

Определяем w_2 ; Re_2 ; Nu_2 ; α_2 для сока

$$w_2 = \frac{V}{F} = \frac{0,0144}{0,041} = 0,35 \text{ м/с}$$

$$Re_2 = \frac{0,35 \cdot 0,021 \cdot 1040}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 12784$$

Nu рассчитываем по формуле 4.23 [2]:

$$Nu_2 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 12784^{0,8} \cdot 4,2^{0,43} \cdot 1,05 = 78,84$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_2} = \frac{78,84 \cdot 0,54}{0,021} = 2027,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара

$$\alpha_1 = 2,02 \cdot \varepsilon \cdot B_t \sqrt[3]{\frac{nL}{G_1}} = 0,6 \cdot 2,02 \cdot 0,67 \cdot 1070 \sqrt[3]{\frac{666 \cdot 6}{2,1824}} = 10630 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Термическое сопротивление загрязненной стенки:

$$\frac{1}{\sum r_{\text{ст}}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800}} = 2578,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10630} + \frac{1}{2578,4} + \frac{1}{2027,3}} = 1025,45 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Расчетная площадь теплообмена:

$$F_{\text{оп}} = \frac{4592700}{1025,45 \cdot 46,9} = 95,5 \text{ м}^2.$$



Так как по ГОСТ 14246-79 и ГОСТ 14247-79 теплообменник с наименьшей площадью 10 м^2 , то выбираем данный теплообменник:

$$D = 600 \text{ мм}; n = 240; d = 25 \times 2 \text{ мм}; z = 2; L = 6 \text{ м}; f = 105 \text{ м}^2$$

3. Гидравлический расчёт

Гидравлический расчёт проводится для определения потерь напора и подбора насоса.

1. Потеря напора на трение и местные сопротивления:

$$h_{\text{п}} = \left(\lambda \frac{l}{d_3} + \sum \xi \right) \frac{w^2}{2g}$$

$$L_{\text{н}} + L_{\text{вс}} = 12 \text{ м}; H_{\text{г}} = 5 \text{ м}$$

Выбор диаметра трубопровода

$$d_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0144}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,11 \text{ м}$$

Выбираем трубопровод стандартного диаметра $d=100$ мм. Тогда действительная скорость сока в трубе

$$w = \frac{4 \cdot 0,0144}{3,14 \cdot 0,1^2} = 1,84 \text{ м/с}$$

Режим течения сока в трубе

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{1,84 \cdot 0,1 \cdot 1040}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 318471$$

Гидравлический коэффициент трения

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} = \frac{0,316}{318471^{0,25}} = 0,0133$$

Коэффициенты местных сопротивлений:

1. Вход в трубу: $\xi = 0,5$
2. Задвижка: $\xi = 0,5$
3. Кран: $\xi = 2$
4. Нормальный вентиль: $\xi = 4,0$
5. Выход из трубы: $\xi = 1,0$
6. 90° отводы: $\xi = 0,15 \cdot 4 = 0,6$

$$\sum \xi = 8,6$$

$$h_{\text{п}} = \left(0,0133 \frac{12}{0,1} + 8,6 \right) \frac{1,84^2}{2 \cdot 9,81} = 1,76 \text{ м}$$

Напор, создаваемый насосом:

$$H = 5 + 1,76 = 6,8 \text{ м}$$

$$Q = 0,0144 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 1,44 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$





По таблице I.2 [3] выбираем центробежный насос марки X90/19, $Q = 2,5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; $H = 13 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$; $\eta_{\text{н}} = 0,7$. Электродвигатель типа АО2-51-2; $N_{\text{н}} = 10 \text{ кВт}$; $\eta_{\text{дв}} = 0,88$.

4. Механический расчёт

Механический расчёт обеспечивает прочность и надёжность аппарата.

1. Расчет толщины цилиндрической обечайки:

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2\delta_{\text{д}} \cdot \varphi} + C_{\text{к}} + C_{\text{окр}} = \frac{0,6 \cdot 0,19}{2 \cdot 138 \cdot 0,95} + 0,001 + C_{\text{окр}} = 0,002 \text{ м}$$

2. Расчет толщины эллиптической крышки

$$\delta_1 = \frac{pR}{2\varphi\sigma - 0,5p_{\text{д}}} + C_{\text{к}} + C_{\text{окр}} = \frac{0,10 \cdot 0,3}{2 \cdot 139 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,5} + 0,001 = 0,002 \text{ мм}$$

3. Расчет штуцеров:

Для сока: $d = 100 \text{ мм}$ (из гидравлического расчета)

Для

пара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,18/0,92}{3,14 \cdot 20}} = 0,4 \text{ м}$$

По ОСТ 26-1412-76 выбираем стандартные штуцеры:

Для сока, мм:

$$D_{\text{у}} = 100; d_{\text{т}} = 108; S_{\text{т}} = 5; H_{\text{т}} = 155;$$

Для пара, мм:

$$D_{\text{у}} = 400; d_{\text{т}} = 426; S_{\text{т}} = 10; H_{\text{т}} = 210;$$

4. Выбор фланцевых соединений:

По ГОСТ 1255-67 выбираем фланцевые соединения

Для сока, мм:

$$D_{\text{у}} = 100; D_{\text{ф}} = 205; D_{\text{с}} = 170; D_1 = 148; D_4 = ; h = 11; d = 14; z = 4$$

Для пара, мм:

$$D_{\text{у}} = 400; D_{\text{ф}} = 535; D_{\text{с}} = 495; D_1 = 465; h = 24; d = 23; z = 16.$$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Павлов, К.Ф., Романков, П.Г., Насонов, А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. — Л.: Химия, 1987.

2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М.: Химия, 1973.



3. Erkinov A., Xadjibayev A. USE OF ROTOR CLASSIFIERS IN THE POWDER SEPARATION PROCESS IN THE FOOD INDUSTRY //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Т. 1. – №. 2. – С. 458-460.

4. Нурмухамедов А. М. и др. Исследование физико-механических свойств теста для национальных мучных изделий с начинкой //American journal of education and learning. – 2025. – Т. 3. – №. 4. – С. 176-181.

5. Khadjibaev A., Erkinov A., Shokirov A. INVESTIGATION OF THE PROCESS OF GRINDING OF SOLID OIL REFINERY WASTE IN THE IMPACT CENTRIFUGAL MILL //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Т. 1. – №. 2. – С. 478-482.

6. Абдуллаева С. Ш. и др. Влияние острого пара на подсушку корнеплодов при очистке методом мгновенного сброса давления //Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – №. 4. – С. 9-12.

7. Annaev N. A. et al. Compacting solid waste from chemical industries //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2022. – Т. 2432. – №. 1. – С. 050049.

8. Ковалева А. А. и др. Направления переработки твердых продуктов пиролиза изношенных автомобильных шин, получаемых на установке ООО" РТС групп". – 2020.

9. Абдуллаева С. Ш. и др. К вопросу изменения влажности деформирующихся материалов //Международная научно-практическая конференция “Актуальные проблемы отраслей химической технологии”, Бухара. – 2015. – С. 10-12.

10. Абдуллаева С. Ш. и др. К вопросу о частичной подсушке корнеплодов при очистке методом мгновенного сброса давления //Химическая технология. Контроль и управление. – 2015. – Т. 6. – С. 12-16.

11. Lyamin A., Xadjibayev A., Erkinov A. STUDYING THE THERMAL CONDUCTIVITY OF MATERIALS //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Т. 1. – №. 3. – С. 328-336.

12. Xadjibayev A., Jobborova M., Erkinov A. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF U-SHAPED HEAT EXCHANGERS: A SCIENTIFIC ANALYSIS //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Т. 1. – №. 2. – С. 461-464.

13. Tokhtasheva M., Erkinov A. THE STRUCTURE, STRUCTURE AND APPLICATION OF 3D PRINTER FILAMENTS: ANALYSIS AND PROSPECTS //Journal of Applied Science and Social Science. – 2025. – Т. 1. – №. 2. – С. 796-799.

14. Shonazarovna A. S. et al. DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF EFFICIENT TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE REGENERATION OF TRANSFORMER OIL //AMERICAN JOURNAL OF EDUCATION AND LEARNING. – 2025. – Т. 3. – №. 3. – С. 1104-1107.



15. Хаджибаев А. Ш. и др. ИНЖИНИРИНГОВЫЕ УСЛУГИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ И ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОКОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ (НПЗ) И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ (НХЗ). СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПОДХОДЫ //Economics, management, and digital innovation in education: contemporary trends and approaches. – 2025. – Т. 2. – №. 6. – С. 1-5.

16. Ahliyor E., Shavkatovich X. A., Arslon o'g'li A. F. OZIQ-OVQAT SANOATIDA FOYDALANILADIGAN FILTRLAR //FORMATION OF PSYCHOLOGY AND PEDAGOGY AS INTERDISCIPLINARY SCIENCES. – 2024. – Т. 3. – С. 151-158.

17. Vladimirovich L. A. et al. INVESTIGATION OF COMBINED HEAT EXCHANGE OF HORIZONTAL PIPES WITH AMBIENT AIR UNDER CONDITIONS OF FREE CONVECTION //AMERICAN JOURNAL OF EDUCATION AND LEARNING. – 2025. – Т. 3. – №. 6. – С. 144-152.

18. Худайбердиев А. А., Шарипов К. К., Исмаилов О. Ю. Основные физико-химические и теплофизические свойства газового конденсата //Химическая промышленность. – 2017. – Т. 94. – №. 3. – С. 143-146.

19. Sharipov K. K., Yusupov T. A. Investigation of ethanalamines in the purification of sulfur gases of Uzbek deposits." //Young Scientist" International scientific journal. Russia. – 2016. – №. 2. – С. 269-270.

20. Исмаилов О. Ю., Худайбердиев А. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИРОЛИЗНОГО ДИСТИЛЛЯТА //Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4. – С. 62-64.

21. Абдуллаева С. Ш. и др. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФЛОТАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЯНОГО ШЛАМА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ //Universum: технические науки. – 2025. – Т. 5. – №. 5 (134). – С. 42-45.

22. Абдуллаева С. Ш. и др. ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА НА СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ //SCHOLAR. – 2026. – Т. 4. – №. 2. – С. 35-40.

23. Кадыров Н. А. и др. Изучение коллоидно-химических свойств поверхностно-активных веществ на основе госсиполовой смолы //Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2012. – №. 1. – С. 25-28.

24. Щербакова Л. Н., Махмудов А. С., Шералиева О. А. Изучение коллоидно-химических свойств ПАВ на основе гасиполовой смолы //Вестник Всероссийского НИИ жиров.–2012. – 2012. – Т. 1.



25. Шералиева О. А., Кадыров А. А. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОГО ПАВ ОГСЛ //Science and innovation. – 2024. – Т. 3. – №. Special Issue. – С. 152-153.

26. Ганижонов Д. И. и др. Сушка местных сортов зерна в струйно-псевдооживленном слое //Инновационные технологии пищевых производств. – 2021. – С. 52-53.

27. Abdullaeva S. S. et al. Dehydration and grinding of deformable materials by instant pressure relief method //PROBLEMS IN THE TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY IN THE CONTEXT OF INTEGRATION OF SCIENCE AND INDUSTRY AND WAYS TO SOLVE THEM:(PTLICISIWS-2022). – 2023. – Т. 2789. – №. 1. – С. 020020.

28. Нуриллаева А. А. и др. РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБЧАТО-РЕШЕТЧАТОЙ НАСАДКИ ИЗ ТРУБ СО СПИРАЛЕВИДНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ //Universum: технические науки. – 2024. – Т. 6. – №. 10 (127). – С. 38-45.

29. Зайналов Ж. Р., Нурмухамедов А. М., Хаджибаев А. Ш. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА СУДЬБУ НАЧИНАЮЩЕГО ДОКТОРАНТА-ИССЛЕДОВАТЕЛЯ //AMERICAN JOURNAL OF EDUCATION AND LEARNING. – 2025. – Т. 3. – №. 8. – С. 98-101.

30. Зайналов Ж. Р., Нурмухамедов А. М., Хаджибаев А. Ш. ПРОБЛЕМЫ УЛУЧШЕНИЯ НАУЧНОГО РУКОВОДСТВА ДОКТОРАНТАМИ-СОИСКАТЕЛЯМИ КАФЕДРЫ //AMERICAN JOURNAL OF EDUCATION AND LEARNING. – 2025. – Т. 3. – №. 8. – С. 109-114.