

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ МЕЖТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА

А. А. Давронбеков

ассистент кафедры технологических машин и оборудования, Ферганский
политехнический институт, г. Фергана, Республика Узбекистан

E-mail: a.a.davronbekov@ferpi.uz

Кожухотрубчатые теплообменные аппараты (КТА) широко применяются химической и нефтегазовой отрасли на этапах первичной подготовки, при транспортировании нефти с целью улучшения реологических свойств и снижения вязкости. Распространение КТА обусловлено надежностью конструкции и разнообразием типов и вариантов исполнения для эксплуатации в широком диапазоне температуры, давления и коррозионной активности среды [1-8]. Важной тенденцией на современном этапе развития производства является повышение эффективности используемого технологического оборудования, применительно к теплообменному оборудованию это обеспечение высокой энергетической эффективности [9-13]. Для организации перекрестного тока и увеличения скорости движения теплоносителя в межтрубном пространстве КТА используются плоские поперечные перегородки различных конфигураций [14-21]. Наличие таких перегородок существенно усложняет схему течения теплоносителя и применяемые в настоящее время методики теплового расчета КТА, в основе которых лежат критериальные зависимости, справедливые для обтекания идеальных пучков, не учитывают всех особенностей течения [22-34]. Часть потока проходит вдоль корпуса через зазоры между поперечными перегородками и кожухом, при этом жидкость не контактирует с поверхностью теплообменных труб, что приводит к снижению эффективности теплопередачи [35-41]. В тоже время конструктивные зазоры необходимы для монтажа трубного пучка внутри кожуха и их величина определяется технологическими возможностями изготовителя. Таким образом, важно оценить влияние величины радиальных зазоров между поперечными перегородками и кожухом на тепловые и гидравлические характеристики аппарата. Многократное изменение направления движения потока является причиной образования застойных зон, способствующих перегреву и образованию отложений на поверхности теплообменных труб, оказывающих негативное влияние на эффективность теплопередачи. Размеры застойных зон зависят от геометрических параметров и размещения поперечных перегородок. На практике неучтенное влияние обводных течений компенсируется запасом площади теплопередающей поверхности. Такой подход приводит к увеличению металлоемкости КТА. Современное развитие компьютерной техники позволяет существенно повысить эффективность решения научных и инженерных задач [39-48]. Анализ результатов численного моделирования

позволяет решить ряд вопросов, направленных на повышение эффективности теплопередачи, которая остается одной из наиболее важных при проектировании КТА [49-54]. Поэтому учет влияния байпасных потоков и застойных зон как факторов, снижающих эффективность и интенсивность теплопередачи в КТА, выбор оптимальных значений высоты выреза и расстояния между сегментными поперечными перегородками, обеспечивающих максимальную энергетическую эффективность теплопередачи, является актуальной задачей. Интенсификация теплообмена и снижение гидравлического сопротивления в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах с односегментными поперечными перегородками за счет применения дополнительных конструктивных элементов в межтрубном пространстве. Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

Разработать конечно-элементные модели для расчета гидродинамики и теплопередачи в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах диаметрами $D = 147, 400, 500, 600$ мм и провести верификацию разработанных моделей;

Установить доли обводных потоков, проходящих через конструктивные зазоры в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменного аппарата, оценить их влияние на коэффициент теплопередачи и гидравлическое сопротивление проточного пространства;

Исследовать влияние геометрических размеров и параметров размещения односегментных поперечных перегородок на ширину застойных зон и эффективность теплоотдачи в межтрубном пространстве;

Усовершенствовать конструкцию кожухотрубчатого теплообменного аппарата с целью снижения влияния конструктивных зазоров и застойных зон на коэффициент теплоотдачи и гидравлическое сопротивление.

Научная новизна

Установлены зависимости коэффициента теплоотдачи, перепада давления и долей обводных потоков в межтрубном пространстве кожухотрубчатых теплообменных аппаратов от величины конструктивных зазоров. Показано, что при максимальной допустимой величине зазоров между поперечными перегородками и кожухом коэффициент энергетической эффективности снижается на 35%, при максимальной допустимой величине зазоров между отверстиями в перегородках и теплообменными трубами коэффициент энергетической эффективности снижается на 13%.

Получены зависимости эффективности теплоотдачи в межтрубном пространстве от соотношения высоты выреза h_w односегментной поперечной b перегородки и расстояния L_b между перегородками. Показано, что максимальная энергетическая эффективность достигается при соотношении $h_w/L_b = 0,57$. Установлено, что размещение трех дополнительных перегородок шириной $0,1D$ на каждом шаге между односегментными поперечными перегородками позволяет увеличить шаг между

поперечными перегородками на 60% и коэффициент энергетической эффективности теплопередачи М.В. Кирпичева на 22% при одинаковом количестве передаваемой тепловой энергии.

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании выбора оптимальных геометрических размеров и параметров размещения поперечных перегородок в межтрубном пространстве КТА, исходя из условий обеспечения энергетической эффективности теплопередачи. Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем: 1 Методика расчета гидравлических и тепловых характеристик кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с одноsegmentными поперечными перегородками принята к внедрению на АО «Ферганаазот». 2 Методика расчета гидравлических и тепловых характеристик кожухотрубчатых теплообменных аппаратов используется в учебном процессе в ФерПИ при подготовке бакалавров по направлению 5320300 «Технологические машины и оборудование»

В ходе исследований применялись методы компьютерного конечно элементного моделирования (модуль расчета динамики жидкостей и газов амячный селитры), методы математической статистики, экспериментальные методы исследования теплообмена. Положения, выносимые на защиту 1 Результаты численных экспериментов по анализу теплогидравлических характеристик (поля скоростей и температуры) потока жидкости в межтрубном пространстве кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с одноsegmentными 7 поперечными перегородками. 2 Закономерности влияния величины конструктивных зазоров между перегородками и кожухом, трубами и отверстиями в перегородках на коэффициент теплоотдачи и гидравлическое сопротивление межтрубного пространства кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, установленные в результате численного эксперимента. 3 Конструктивные решения по повышению эффективности кожухотрубчатых теплообменных аппаратов за счет более равномерного распределения потока, уменьшения застойных зон и обводных течений в межтрубном пространстве.

Литературы

1. Davronbekov, A., Qoxorov, I., Xomidov, X., & Maxmudov, A. (2021). Systematic analysis of process intensification in heat exchange products. *Scientific progress*, 2(1), 694-698.
2. Мухамадсадилов, К. Д., & Давронбеков, А. А. (2021). Исследование влияния гидродинамических режимов сферической нижней трубы на процесс теплообмена. *Universum: технические науки*, (7-1 (88)), 38-41.
3. Исомиддинов, А. С., & Давронбеков, А. А. (2021). Исследование гидродинамических режимов сферической углубленной трубы. *Universum: технические науки*, (7-1 (88)), 53-58.

4. Ergashev, N. A., Davronbekov, A. A., Khalilov, I. L. C., & Sulaymonov, A. M. (2021). Hydraulic resistance of dust collector with direct-vortex contact elements. *Scientific progress*, 2(8), 88-99.
5. Davronbekov, A. A. (2022). Sferik botiqli quvirda tajribaviy tadqiqotlar otkazish usullari va natijalari. *Yosh Tadqiqotchi Jurnal*, 1(5), 211-220.
6. Ахунбаев, А. А., & Давронбеков, А. А. (2022). Минерал ўғитларни қуритиш объекти сифатида таҳлили. *Yosh Tadqiqotchi Jurnal*, 1(5), 221-228.
7. Davronbekov, A. A., & Isomidinov, A. S. (2022, November). Analysis of requirements for modern heat exchangers and methods of process intensification. In *International conferences* (Vol. 1, No. 7, pp. 174-183).
8. Davronbekov, A. A., & Isomidinov, A. S. (2022, November). Systematic Analysis Of The Working Parameters Of A Floating Head Shell-Tube Heat Exchanger. In *International Conferences* (Vol. 1, No. 7, pp. 3-15).
9. Abdurasul, D. (2022). Investigation Of Heat Transfer Rate In Smooth Turbulizer Pipes. *Universum: технические науки*, (6-6 (99)), 59-62.
10. Хусанбоев, А. М., Ботиров, А. А. У., & Абдуллаева, Д. Т. (2019). Развертка призматического колена. *Проблемы современной науки и образования*, (11-2 (144)), 21-23.
11. Хусанбоев, А. М., Тошқузиёва, З. Э., & Нурматова, С. С. (2020). Приём деления острого угла на три равные части. *Проблемы современной науки и образования*, (1 (146)), 16-18.
12. Хусанбоев, А. М., Абдуллаева, Д. Т., & Рустамова, М. М. (2021). Деление Произвольного Тупого Угла На Три И На Шесть Равных Частей. *Central Asian Journal Of Theoretical & Applied Sciences*, 2(12), 52-55.
13. Ахунбаев, А. А., & Хусанбоев, М. А. (2022). Барабаннинг кўндаланг кесимида минерал ўғитларнинг тақсимланишини тадқиқ қилиш. *Yosh Tadqiqotchi Jurnal*, 1(5), 357-367.
14. Хусанбоев, М. (2022). Термическая Обработка Шихты Стекольного Производства. *Yosh Tadqiqotchi Jurnal*, 1(5), 351-356.
15. Ахунбаев, А. А., & Хусанбоев, М. А. У. (2022). Влияние Вращения Сушильного Барабана На Распределение Материала. *Universum: технические науки*, (4-2 (97)), 16-24.
16. Rasuljon, T., Akmaljon, A., & Ikhomjon, M. (2021). Selection Of Filter Material And Analysis Of Calculation Equations Of Mass Exchange Process In Rotary Filter Apparatus. *Universum: технические науки*, (5-6 (86)), 22-25.
17. Isomiddinov, A., Axrorov, A., Karimov, I., & Tojiyev, R. (2019). Application of rotor-filter dusty gas cleaner in industry and identifying its efficiency. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, (9-10), 24-31.
18. Тожиев, Р. Ж., Исомиддинов, А. С., Ахроров, А. А. У., & Сулаймонов, А. М. (2021). Выбор оптимального абсорбента для очистки водородно-фтористого газа в роторно-

- фильтровальном аппарате и исследование эффективности аппарата. *Universum: технические науки*, (3-4 (84)), 44-51.
19. Дусматов, А. Д., Хурсанов, Б. Ж., Ахроров, А. А., & Сулаймонов, А. (2019). Исследование напряженно деформированное состояние двухслойных пластин и оболочек с учетом поперечных сдвигов. In *Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях* (pp. 48-51).
20. Ахроров, А. А. У., Исомиддинов, А. С., & Тожиев, Р. Ж. (2020). Гидродинамика поверхностно-контактного элемента ротор-фильтрующего пылеуловителя. *Universum: технические науки*, (8-3 (77)), 10-16.
21. Мирзахонов, Ю. У., Хурсанов, Б. Ж., Ахроров, А. А., & Сулаймонов, А. (2019). Применение Параметров Натяжного Ролика При Теоретическом Изучении Динамики Транспортирующих Лент. In *Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях* (pp. 134-138).
22. Rasuljon, T., Azizbek, I., & Akmaljon, A. (2021). Analysis of the dispersed composition of the phosphorite dust and the properties of emission fluoride gases in the production of superphosphate mineral fertilizers. *Universum: химия и биология*, (6-2 (84)), 68-73.
23. Akhrorov, A. K. M. A. L. J. O. N. (2021). Study of mass transfer process in rotary-filter gas cleaner. *Austrian journal of technical and natural science*, (11-12), 3-19.
24. Тожиев, Р. Ж., Исомиддинов, А. С., & Ахроров, А. А. У. (2021). Исследование Пленочного Слоя На Рабочей Поверхности Роторно-Фильтрующего Аппарата. *Universum: технические науки*, (7-1 (88)), 42-48.
25. Toimatovich, K. I., & Ikromovich, K. I. (2019). The method of determining the size of the mixing zone bubbling extractor. *International scientific review*, (LV), 11-15.
26. Тожиев, Р. Ж., Ахроров, А. А., & Герасимов, М. Д. (2019). Исследование Методом Фотоупругости Ковейрных Лент При Различных Условиях Нагружения. In *Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях* (pp. 266-273).
27. Ахроров, А. А. У. (2022). Исследование Массообменного Процесса При Мокрой Очистке Газов В Роторно-Фильтрующим Аппарате. *Universum: технические науки*, (4-8 (97)), 23-29.
28. Ugli, A. A. A. (2022). Study Of The Mass Transfer Process In The Wet Treatment Of Waste Gases Generated In The Production Of Superphosphate. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(11), 11-19.
29. Mukhamadsadikov, K. J., & ugli Ortikaliev, B. S. (2021). Working width and speed of the harrow depending on soil resistivity. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 2(04), 152-158.
30. Abdukakhorovich, A. H., & Muhammadsodikov, K. D. (2021). Improving the design of internal plates in columnar apparatus. *ResearchJet Journal of Analysis and Inventions*, 2(05), 109-117.

31. Мухамадсадиқов, К., Ортикалиев, Б., Юсуов, А., & Абдупаттоев, Х. (2021). Ширина захвата и скорости движения выравнивателя в зависимости удельного сопротивления почвы. Збірник наукових праць SCIENTIA.
32. Mukhamadsadikov, K. J. (2022). Determination Of Installation Angle And Height Working Body Of The Preseeding Leveler. American Journal Of Applied Science And Technology, 2(05), 29-34.
33. Axunboev, A., & Muxamadsodikov, K. (2021). Drying fine materials in the contact device. Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali, 1(5), 133-138.
34. Axunboev, A., Muxamadsodikov, K., & Qoraboev, E. (2021). Drying sludge in the drum. Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali, 1(5), 149-153.
35. Axunboev, A., Muxamadsodikov, K., Djuraev, S., & Musaev, A. (2021). Analysis of the heat exchange device complex in rotary ovens. Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali, 1(5), 127-132.
36. Mukhamadsadikov, Kamaljon Jamalovich, and Bobojon Safarali ugli Ortikaliev. "working width and speed of the harrow depending on soil resistivity." Web of Scientist: International Scientific Research Journal 2.04 (2021): 152-158.
37. Mukhamadsadikov, K., & Ortiqaliyev, B. (2022). Constructive Parameters of Earthquake Unit Before Sowing. Eurasian Journal of Engineering and Technology, 9, 55-61.
38. Khabibullaevich, M. R. (2021). Drying Building Materials in a Drum Dryer. Journal of Marketing and Emerging Economics, 1(6), 93-97.
39. Mirsharipov, R. (2021). Analiysis of drying building materials in a drum dryer. Scientific progress, 2(8), 145-152.
40. Tojiev, R. J., Axunboev, A. A., Mirsharipov, R. X., & Abdukadirov, N. (2019). Drying glass feed stock in drum drier for manufacturing glass products. Scientific-technical journal, 2(3), 137-140.
41. Тожиев, Р. Ж., Ахунбаев, А. А., & Миршарипов, Р. Х. (2018). Сушка тонкодисперсных материалов в безуносной роторно-барабанном аппарате. Научно-технический журнал ФерПИИ,-Фергана,(2), 116-119.
42. Tojiev, R. J. (2020). Axunbaev AA Mirsharipov RX Optimization konstruksii sushilnogo barabana na osnove sistemnogo analiza protsessa. Universum: tehnicheckie nauki, (11-1), 80.
43. Tojiev, R., Mirsharipov, R., Axunbaev, A., & Abdusalomova, N. (2020). Optimized dryer design based on system process analysis. Universum: tehnicheckie nauki: nauchnyy jurnal, (2), 11.
44. Ахунбоев, А. А., & Хабибуллаевич, М. Р. Барабанли аппаратда дисперс материални куритиш жараёни статикаси. 2020. Фарғона политехника институти Илмий-техника журнали, 5(1), 268-272.
45. Тожиев, Р. Ж., Миршарипов, Р. Х., & Ражабова, Н. Р. (2022). Гидродинамические Режимы В Процессе Сушки Минеральных Удобрений. Central asian journal of theoretical & applied sciences, 3(5), 352-357.

46. Ахунбаев, А. А., & Ражабова, Н. Р. (2021). Высушивание дисперсных материалов в аппарате с быстро вращающимся ротором. *Universum: технические науки*, (7-1 (88)), 49-52.
47. Ахунбаев, А. А., Ражабова, Н. Р., & Вохидова, Н. Х. (2020). Исследование гидродинамики роторной сушилки с быстровращающимся ротором. *Экономика и социум*, (12-1), 392-396.
48. Тожиев, Р. Ж., Садуллаев, Х. М., Миршарипов, Р. Х., & Ражабова, Н. Р. Сууюқланма материалнинг кристалланиши ва қуритиш жараёнларининг ўзига хослиги. *ФарПИ ИТЖ (STJ FerPI)*, –2019, –24 №, 1, 46-58.
49. Тожиев, Р. Ж., Садуллаев, Х. М., & Хабибуллаевич, М. Р. (2018). Аэрофонтан усулида фосфор кукунини пуркаш орқали ўғит доналлар сиртини қоплаш ва қуритиш технологияси. 2018. *Фарғона политехника институти Илмий-техника журнали*, 4(4), 239-243.
50. Mirsharipov, R. N., & Akhunbaev, A. A. (2020). Research of Hydrodynamic Parameters of Drum Dryer. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(11).
51. Тожиев, Р. Ж., Ахунбаев, А. А., Миршарипов, Р. Х., Муллажонова, М. М. К., & Ўйигиталиев, М. М. У. (2021). Анализ процесса сушки минеральных удобрений в барабанном аппарате. *Universum: технические науки*, (8-1 (89)), 31-36.
52. Тожиев, Р. Ж., Миршарипов, Р. Х., Ахунбаев, А. А., & Абдусаломова, Н. А. К. (2020). Оптимизация конструкции сушильного барабана на основе системного анализа процесса. *Universum: технические науки*, (11-1 (80)), 59-65.
53. Тожиев, Р. Д., Ахунбаев, А. А., & Миршарипов, Р. Х. (2021). ИССЛЕДОВАНИЕ гидродинамических процессов при сушке минеральных удобрений в барабанных сушилках. *Научнотехнический журнал*, 4(4).
54. Tojiyev, R. J., Akhunbaev, A. A., & Mirsharipov, R. X. (2021). Research of hydrodynamic processes when drying mineral fertilizers in drum dryers. *Scientific-technical journal*, 4(4), 10-16.