

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИК НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Рахимов Ганишер Бахтиёрович

Каршинский инженерно-экономический институт, доцент, к.т.н.
Республика Узбекистан, Кашкадарьинская область
<https://orcid.org/0009-0004-1970-1541>

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HEAT-EXCHANGE EFFICIENCY IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER ON HYDRODYNAMIC PARAMETERS

Rakhimov Ganisher Bakhtiyorovich

Karshi Engineering-Economics Institute, *associate professor, Ph.D.*
Republic of Uzbekistan, Kashkadarya region
<https://orcid.org/0009-0004-1970-1541>

Аннотация: В настоящее время в мире нефть и природный газ являются богатыми энергетическими ресурсами полезных ископаемых и основным источником производства энергии и топлива. Продукты, получаемые на основе их переработки, широко используются во всех отраслях промышленности, в транспорте и в быту. Соответственно, совершенствуя конструкции теплообменников, применяемых на предприятиях переработки природного газа, а также создав оптимальные гидродинамические режимы движения сырьевого потока можно добиться увеличения межремонтного периода и повысить экономическую эффективность. В данной статье исследовано влияние физических, теплофизических и гидродинамических параметров теплоносителей на эффективность теплообмена в кожухотрубном теплообменнике. Экспериментальным методом определены физические, теплофизические и гидродинамические параметры оптимальных теплоносителей и определенные улучшения эффективности теплообмена.

Annotation: Currently, the world's oil and natural gas are rich energy resources of minerals and the main source of energy and fuel production. Products obtained from their processing are widely used in all industries, transport and everyday life. Accordingly, by improving the design of heat exchangers used at natural gas processing enterprises, as well as by creating optimal hydrodynamic modes of movement of the raw material flow, it is possible to increase the overhaul period and increase economic efficiency. This article examines the influence of physical, thermal and hydrodynamic parameters of heat carriers on the efficiency of heat exchange in a shell-and-tube heat exchanger. The physical, thermal and hydrodynamic parameters of optimal heat carriers and certain improvements in heat exchange efficiency are determined by an experimental method.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменник, теплоноситель, гидродинамические режимы, Критерий Рейнольдса, расход, расход.

Key words: shell-and-tube heat exchanger, hydrodynamic regimes, coolant, Reynolds criterion, flow.

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазоперерабатывающая промышленность является одной из наиболее развитых отраслей в мире, и ее вес в национальной экономике с каждым годом увеличивается. Промышленные предприятия этой отрасли оснащены современным оборудованием и приборами, перерабатывают местное сырье и получают готовую продукцию на основе самых передовых технологий.

В последние годы в нашей стране большое внимание уделяется проведению активной инвестиционной политики по модернизации, техническому и технологическому перевооружению ведущих отраслей экономики.

Сегодня особое внимание уделяется дальнейшему совершенствованию и модернизации технологий, применяемых в нефтегазоперерабатывающей отрасли, созданию энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе последних достижений техники, выпуску продукции, отвечающей требованиям

международных стандартов при снижении потребления сырья и энергии. В частности, проведена большая научно-исследовательская работа учеными и специалистами в области создания энерго- и ресурсосберегающих устройств за счет оптимизации гидродинамических режимов теплообменных устройств, широко применяемых на предприятиях нефтегазопереработки, и они реализовано в соответствии с практикой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Фракции, выходящие из ректификационных колонн от теплообменных аппаратов, применяемых на нефтегазоперерабатывающих предприятиях, повышающие температуру первичного сырья или низкотемпературные потоки с горячими технологическими потоками, выходящие из адсорбционных и абсорбционных колонн, наоборот, широко используются при охлаждении технологических потоков и конденсации паров. По этой причине результаты нагрева абсорбента (диэтанолamina), насыщенного кислыми газами, с регенерированным диэтанолamiном с использованием кожухотрубчатого теплообменника представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость от температуры потока в кожухотрубном теплообменнике от расхода сырья

Расход сырья, V, л/мин	Нагревающий агент температура, °C		Теплоноситель температура, °C	
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
1	25	87	108	81
2	25	85	108	82
3	25	82	108	84
4	25	78	108	86
5	25	71	108	89

Значения, приведенные в таблице, показывают, что температура теплоносителя (насыщенного диэтанолamina), поступающего во внутреннюю трубу кожухотрубчатого теплообменника, составляет t₁=25°C, а температура

теплоносителя (регенерированного диэтанолamina), выходящего из нагревательного котла, составляет $t_4 = 108^\circ\text{C}$. Изменение температуры в этих пределах при различных расходах $V=1\div 5$ л/мин нагреваемого сырья проявляется следующим образом. При расходе нагреваемого сырья 1 л/мин повышение температуры от $t_1 = 25^\circ\text{C}$ до $t_2 = 87^\circ\text{C}$ приводит к снижению температуры теплоносителя с $t_3=108^\circ\text{C}$ до $t_4=81^\circ\text{C}$. При увеличении расхода сырья до 5 л/мин приводит к повышению температуры нагреваемого реагента до 71°C и снижению температуры теплоносителя до 89°C .

На рис. 1 представлен график зависимости температуры холодного и горячего теплоносителей на выходе из экспериментального кожухотрубчатого теплообменника от скорости потока нагреваемого сырья в аппарате.

Из графика видно, что при повышении температуры нагреваемого сырья в трубе с 25 до 87°C при скорости потока $0,21$ м/с увеличение скорости движения сырья приводит к увеличению потребления и, как следствие, снижению эффективности нагрева сырья. Результаты испытаний показали, что если температура, при которой сырье поступает в трубу равна 25°C и является постоянной, то при увеличении скорости в 2 раза температура изменяется до 85°C , а при увеличении скорости в 3 раза - до 82°C , а при увеличении в 4 раза - до 78°C и 71°C при увеличении скорости 5 раз ($1,06$ м/с). Соответственно, при этих скоростях наблюдалось повышение температуры нагреваемого реагента (охлаждаемого сырья) до $81, 82, 84, 86$ и 89°C .

Из графика видно, что при повышении температуры нагреваемого сырья в трубе с 25 до 87°C при скорости потока $0,21$ м/с увеличение скорости движения сырья приводит к увеличению потребления и, как следствие, снижению эффективности нагрева сырья. Результаты испытаний показали, что если температура, при которой сырье поступает в трубу равна 25°C и является постоянной, то при увеличении скорости в 2 раза температура изменяется до 85°C , а при увеличении скорости в 3 раза - до 82°C , а при увеличении в 4 раза - до 78°C и 71°C при увеличении скорости 5 раз ($1,06$ м/с). Соответственно,

при этих скоростях наблюдалось повышение температуры нагреваемого реагента (охлаждаемого сырья) до 81, 82, 84, 86 и 89 °С.

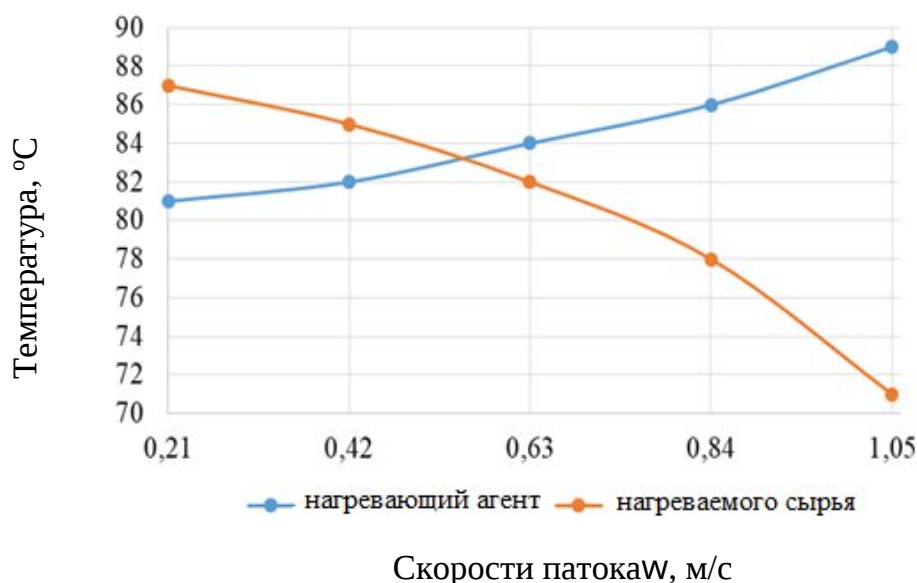


Рисунок 1. Зависимость температуры теплоносителей в теплообменнике от скорости потоков

Из полученных результатов и данных кривых, представленных на графике, видно, что процесс нагрева в трубчатых аппаратах при скорости потока сырья в диапазоне $0,5 \div 0,6$ м/с позволяет повысить тепловой КПД аппарата.

В таблице 2 представлены результаты расчета плотности диэтанолamina при температуре $60 \div 120$ °С различной концентрацией: 25 % насыщенного, 26 % ненасыщенного и 85 %

Таблица 2

Результаты расчета плотности исследуемых диэтанолaminов в интервале температур $60 \div 120$ °С

Температура, °С	25% насыщенный диэтанолamin	26% ненасыщенный диэтанолamin	85% чистого диэтанолamina
60	1091	1069	1070
70	1084	1061	1066
80	1079	1055	1061
90	1072	1049	1057
100	1067	1041	1053
110	1060	1033	1049
120	1053	1025	1045

Результаты математических расчетов по определению плотности исследуемой жидкости показывают, что при повышении температуры от 60 °С до 120 °С плотность 25%-насыщенного диэтанолamina увеличилась с 1091 кг/м³ до 1053 кг/м³, т.е. в 1,03 раза, в этих температурных пределах плотность 26%ненасыщенного диэтанолamina уменьшилась с 1069 кг/м³ до 1025 кг/м³, т.е. в 1,04 раза, а плотность 85% диэтанолamina уменьшилась с 1070 кг/м³ до 1045 кг/м³, т.е. 1,02 раза.

По данным диаграммы, представленной на рисунке 2 видно, что коэффициент динамической вязкости 25%-ного насыщенного диэтанолamina, который определен расчётным путём колеблется от $0,83 \cdot 10^{-3}$ до $0,68 \cdot 10^{-3}$ Па·с; 26%-ного ненасыщенного диэтанолamina от $0,76 \cdot 10^{-3}$ до $0,09 \cdot 10^{-3}$ Па·с; а 85%-ного диэтанолamina от $2,20 \cdot 10^{-3}$ до $0,075 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

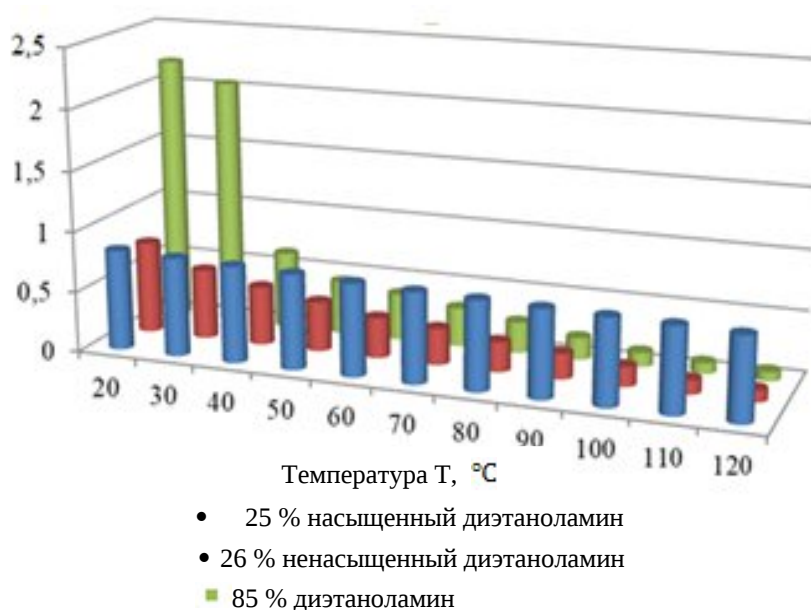


Рисунок 2. Изменение динамической вязкости в диапазоне температур 20 ÷ 120 °С

Линейные изменения, представленные на рисунке 3 показывают, что во всех трех образцах наблюдалось повышение температуры, которые приводят к увеличению теплоемкости диэтанолamina. Теплоемкость 25%-насыщенного диэтанолamina в интервале температур 20 ÷ 120 колеблется в пределах 1536 ÷ 1578 кДж/кг·К, а у ненасыщенного диэтанолamina эта величина изменяется в

пределах $1556 \div 1627$ кДж/кг·К, теплоемкость 85% диэтанолamina находится в пределах $1559 \div 163$ /кг·К.

Изучены плотность, кинематическая и динамическая вязкости исследуемого сырья при 20 °С, т.е. плотность 25% насыщенного диэтанолamina составила 1112 кг/м³, кинематическая вязкость $0,748$ мм²/с, динамическая вязкость $0,83 \times 10^{-3}$ Па·с. Плотность 26% ненасыщенного диэтанолamina 1091 кг/м³, кинематическая вязкость $0,697$ мм²/с, динамическая вязкость $0,76 \times 10^{-3}$ Па·с. Плотность диэтанолamina с концентрацией 85% составила 1092 кг/м³, кинематическая вязкость $2,02$ мм²/с, динамическая вязкость $2,20 \times 10^{-3}$ Па·с.

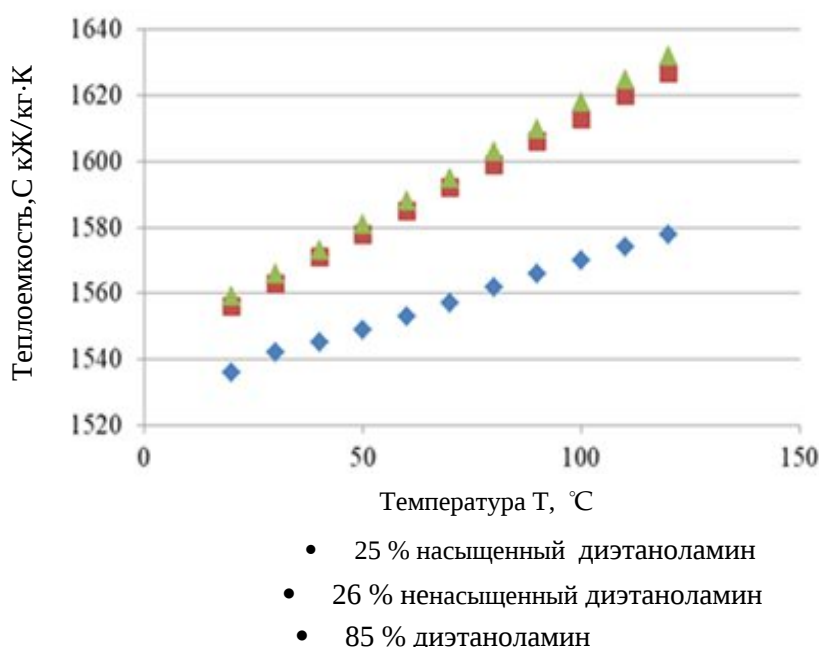
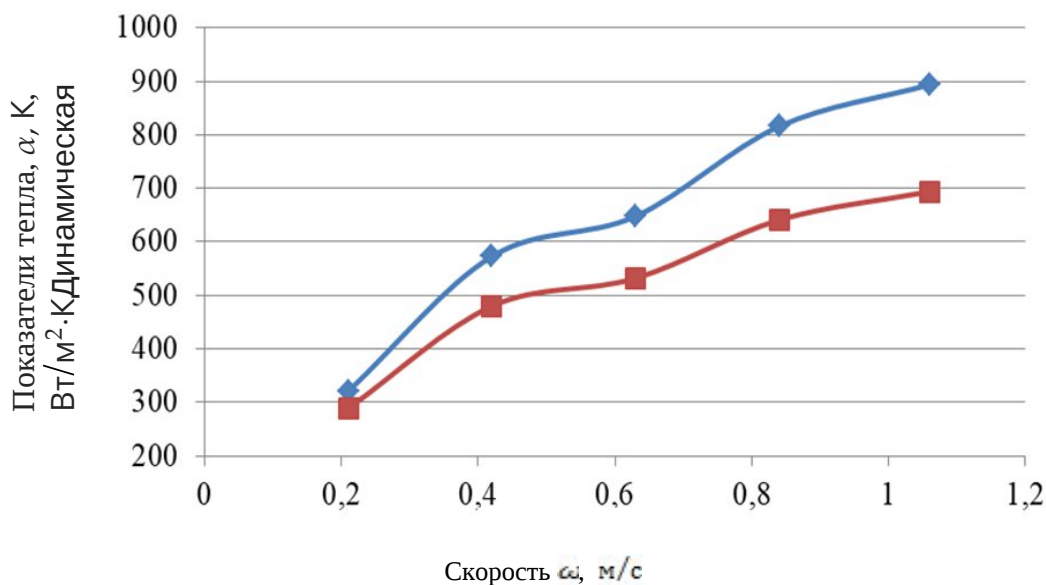


Рисунок 3. Линейные изменения теплоемкостив зависимости от температуры

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 4 представлены кривые, которые показывают, что с увеличением скорости потока сырья на $0,21 \div 1,06$ м/с увеличивается коэффициент теплопередачи от внутренней стенки трубы к сырью в 2,78 раза, а коэффициент теплоотдачи в аппарате- в 2,4 раза.



- Коэффициент теплопередачи $\alpha, Вт/м^2 \cdot К$
- Коэффициент теплоотдачи $K, Вт/м^2 \cdot К$

Рисунок 4. Влияние расхода нагретого сырья на коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи

На рисунке 2 представлены результаты экспериментов и расчёты по определению количества тепла, передаваемого в экспериментальном кожухотрубчатом теплообменнике в зависимости от числа Рейнольдса.

Из графика видно, что количество тепла, передаваемое в ламинарном режиме, ($Re = 584 \div 2339$) изменяется в 2,22 раза, т. е. ($4766 \div 10582$ Вт); количество переданного тепла в переходном режиме ($Re = 2952$) составляет 11456 Вт, т. е. увеличивается в 2,4 раза.

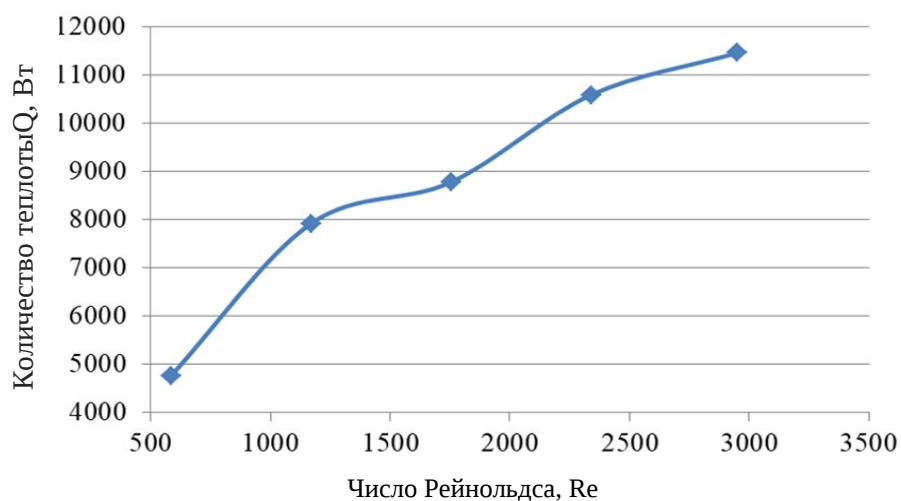


Рис. 2. Зависимость количества переданного тепла от числа Рейнольдса

Из результатов исследования тепловых процессов в теплообменных устройствах известно, что влияние смены режимов течения на эффективность процесса теплообмена очень велико. Поэтому экспериментальные работы, проведенные с целью определения влияния расхода сырья на параметры режима в трубопроводе, представлены на рис. 3.

Из данных, представленных на графике, расход подогретого сырья составляет 1 л/мин. при числе Рейнольдса 584, т.е. в ламинарном режиме, параметры этого режима составляют 4 л/мин расхода сырья. Число Рейнольдса наблюдалось до 2339. Расход сырья 5 л/мин. увеличение до 2952 также привело к увеличению числа Рейнольдса, и в трубе наблюдался переходный режим.

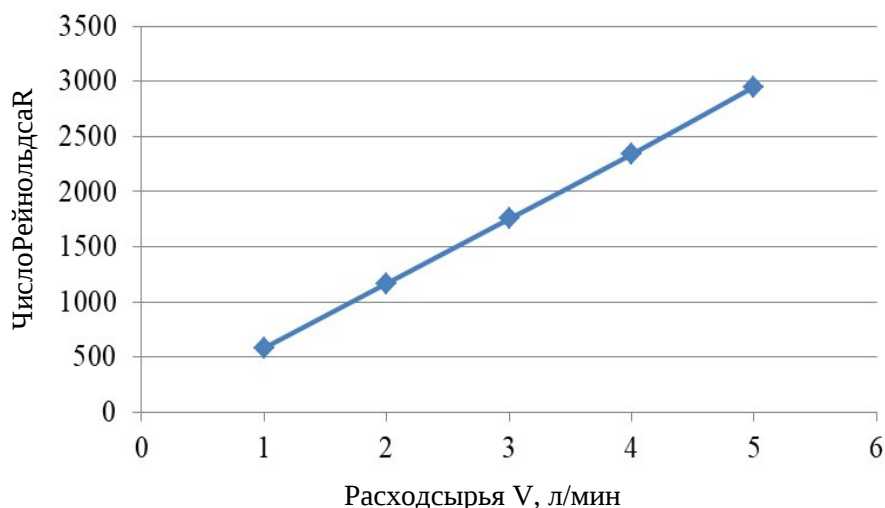


Рисунок 3. Изменение числа Рейнольдса в зависимости от расхода сырья

Исследован процесс нагрева сырья в аппарате в зависимости от его расхода. Согласно ему, увеличение расхода сырья с 1 л/мин до 5 л/мин приводит к снижению температуры нагретого агента до 16 °С. Однако общий объем нагреваемого сырья увеличивается в 5 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что возможности повышения энергоэффективности в кожухотрубном теплообменном трубопроводе будут дополнительно расширены за счет правильной организации процесса.

Изучены плотность, кинематическая и динамическая вязкости исследуемого сырья при 20 °С, т.е. плотность 25% насыщенного диэтанолamina составила 1112 кг/м³, кинематическая вязкость 0,748 мм²/с, динамическая

вязкость $0,83 \times 10^{-3}$ Па·с. Плотность 26% ненасыщенного диэтаноламина 1091 кг/м³, кинематическая вязкость 0,697 мм²/с, динамическая вязкость $0,76 \times 10^{-3}$ Па·с. Плотность диэтаноламина с концентрацией 85% составила 1092 кг/м³, кинематическая вязкость 2,02 мм²/с, динамическая вязкость $2,20 \times 10^{-3}$ Па·с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hurmamatov A.M., Raximov G'.B., Shonazarov E.B. Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmasini tadqiq qilish va xomashyoni fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish. Ijodkor o'qituvchi. Ilmiy uslubiy jurnal. 12-son. Toshkent–2021. –299-303 b.
2. Рахимов, Г. Б., & Муртазаев, Ф. И. (2019). Расчет потери от пылеобразования при производстве портландцемента. *Точная наука*, (45), 102-103.
3. Khurmamatov A.M., G.B.Rakhimov, Murtazayev F.I. Intensifications of heat exchange processes in pipe heat exchangers/ AIP Conference Proceedings **2432**, 050021 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0096336> Published Online: 16 June 2022.
4. Khurmamatov A.M, Rakhimov G.B, Sayfullaev T.K. Improving the efficiency of heat exchange by improving the design of the shell tubular heat exchanger/ XX Международная научно-практическая конференция «Problems of science and practice, tasks and ways to solve them» (Online) Varshava, Polsha. May 2022.-р. - 722-724.
5. Хурмаматов А.М., Рахимов Ф.Б. Повышение эффективности теплообмена путем совершенствования конструкции трубного теплообменного аппарата/ XXI International Scientific and Practical Conference «Actual priorities of modern science, education and practice». (Online) Parij, Frence. May 2022. -р. - 854-854.
6. Хурмаматов А.М., Рахимов Ф.Б. Calculation of heat transfer and heat transfer in a pipe apparatus in heating gas condensate// Scientific and technical journal of Namangan institute of engineering and technology. -Наманган, VOL 6 - Issue (1) 2021.-р. - 187-191. (05.00.00, №33).
7. Хурмаматов А.М., Рахимов Ф.Б., Муртазаев Ф.И. Интенсификации процессов теплообмена в трубчатых теплообменниках// Международный научный журнал «Universum: технические науки». - Москва, 2021.- № 11 (92). - С. 11-15. (02.00.00; №1).
8. Хурмаматов А.М., Рахимов Ф.Б. Расчет гидравлического сопротивления при плавном расширении и сужении горизонтальной

- трубы//Международный научный журнал «Технологии нефти и газа». - Москва, 2021. - №6⁽¹³⁷⁾. - С. 62-64. (05.00.00; №80).
9. Hurmamatov A.M., Raximov G.B., Do'stov H.B., Panoev Ye.R. Regeneratsiya gazlarini nordon komponentlardan absorbsiya usuli orqali tozalash texnologiyasida qo'llaniladigan qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmasining ish samaradorligini oshirish// Fan va texnologiyalar tarrafiyoti. - Buxro, 2021. - №4. - 48-58 b. (05.00.00; №24).\
 10. Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligini gidrodinamik parametlariga ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(03), 77-86.
 11. Raximov, G. A. B. (2024). QOBIQ-QUVURLARDAN FOYDALANGAN HOLDA ISSIQLIK ALMASHINISH USKUNASINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH UCHUN KONSTRUKSIYANI TAKOMILLASHTIRISH. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(03).
 12. Rakhimov, G. B., & Sayfiyev, E. K. (2024). RESEARCH OF THE PROCESS OF PRODUCING ALCOHOLS BASED ON BY-PRODUCTS OBTAINED IN THE FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(03).
 13. Murtazaev, F. I., & Raximov, G. B. (2023). Synthesis of sorbents used in the separation of halogens. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 1(01).
 14. Ganisher, R. (2023). Increasing the efficiency of heat exchange by changing the construction of a shell and tube heat exchanger. *Universum: технические науки*, (5-8 (110)), 21-24.
 15. Хурмаматов, А. М., & Рахимов, Г. Б. (2021). Расчет гидравлического сопротивления при плавном расширении и сужении горизонтальной трубы. *Технологии нефти и газа*, (6 (137)), 62.
 16. Rakhimov, G. B. (2021). CORROSION PROTECTION OF HEAT EXCHANGERS USED ON THE DEVICE FOR AMINE CLEANING OF REGENERATION GASES" SHURTAN OIL AND GAS PRODUCTION DEPARTMENT". *Точная наука*, (105), 2-3.
 17. Шоназаров, Э. Б., & Рахимов, Г. Б. (2021). Интенсификация аппарата воздушного охлаждения путем совершенствования его конструкции. *Universum: технические науки*, (5-5 (86)), 98-100.
 18. Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligini gidrodinamik parametlariga ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(03), 77-86.
 19. Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligini gidrodinamik parametlariga ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(03), 77-86.