

УДК 665.6

**М. И. Рахманова<sup>1</sup>, В. С. Францкевич<sup>2</sup>, Х. С. Нурмухамедов<sup>3</sup>, Э. Т. Мавланов<sup>3</sup>,  
С. Х. Нишанова<sup>3</sup>, Р. И. Ланкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ургенчский государственный университет (Республика Узбекистан)

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>3</sup>Ташкентский химико-технологический институт (Республика Узбекистан)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА В ТРУБЧАТО-РЕШЕТЧАТЫХ НАСАДКАХ С РАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

В данной работе представлено экспериментальное исследование зависимости интенсивности теплообмена  $Nu$  от безразмерной относительной глубины  $h/D$  плавно очерченных спиральных канавок при омывании при абсорбции аммиака аммонизированным рассолом. Известно, что теплообменные процессы имеют значительную роль во многих энергетических устройствах и технологических процессах. При интенсификации теплообмена увеличивается количество тепла и, соответственно, уменьшаются габаритные размеры теплообменника. Применение дискретно расположенных кольцевых выступов является одним из наиболее эффективных и исследованных способов интенсификации переноса тепла. Следует отметить, что накатка кольцевых каналов не увеличивает наружный диаметр труб, позволяя использовать данные трубы в тесных пучках, и не меняет существующей технологии сборки теплообменных аппаратов. В качестве экспериментального участка использовались гладкие и спирально-накатанные трубы из нержавеющей стали X18N10T с плавно очерченными канавками снаружи и соответствующими выступами внутри. Экспериментально доказано, что при увеличении значений относительной глубины турбулизатора  $h/D$  перенос тепла возрастает для всех исследованных шагов размещения турбулизаторов  $t/D$ . Анализ экспериментальных данных показывает, что при переходном режиме  $Re$ , глубине канавок  $h/D$  от 0,003 до 0,095 и  $t/D = 0,77$  интенсивность теплообмена возрастает от 141,5 до 155,1. Сопоставление экспериментальных данных показывает рост переноса тепла в пределах 1,088–1,130 раза.

Из анализа данных видно, что снижение шага размещения турбулизаторов  $t/D$  с 3,0 до 0,025 приводит к увеличению интенсивности теплообмена  $Nu$  со 123,3 до 176,9. Делаются выводы, что уменьшить холодильную и увеличить абсорбционную зону можно только путем интенсификации теплообмена.

**Ключевые слова:** хемосорбция, турбулизатор, интенсивность теплообмена, трубчато-решетчатая насадка, спирально-накатанная труба, глубина канавки, шаг размещения.

**Для цитирования:** Рахманова М. И., Францкевич В. С., Нурмухамедов Х. С., Мавланов Э. Т., Нишанова С. Х., Ланкин Р. И. Исследование переноса тепла в трубчато-решетчатых насадках с развитой поверхностью // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 36–42.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-5.

**M. I. Rakhmanova<sup>1</sup>, V. S. Frantskevich<sup>2</sup>, H. S. Nurmukhamedov<sup>3</sup>, E. T. Mavlanov<sup>3</sup>,  
S. H. Nishanova<sup>3</sup>, R. I. Lankin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Urgench State University (Republic of Uzbekistan)

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

<sup>3</sup>Tashkent Institute of Chemical Technology (Republic of Uzbekistan)

### **STUDY OF HEAT TRANSFER IN TUBULAR-LATTING NOZZLES WITH A DEVELOPED SURFACE**

This paper presents an experimental study of the dependence of the heat transfer intensity  $Nu$  on the dimensionless relative depth  $h/D$  of smoothly contoured spiral grooves during washing during the absorption of ammonia by ammoniated brine. Everyone knows that heat exchange processes play a significant role in many energy devices and technological processes. With intensification of heat exchange, the amount of heat increases, and accordingly, the overall dimensions of the heat exchanger decrease. The use of discretely located annular protrusions is one of the most effective and studied methods for intensifying heat transfer. It should be noted that rolling of ring channels does not increase the outer diameter of the pipes, allowing the use of these pipes in close bundles and does not change the existing technology for assembling heat exchangers. Smooth and spiral-rolled pipes made of X18N10T stainless steel with smoothly contoured grooves on the outside and similar protrusions on the inside were used as an experimental section. It has been experimentally proven that an in-crease in the values of the relative depth of the turbulator  $h/D$  heat transfer in-creases for all the studied

placement steps of the turbulator  $t/D$ . Analysis of experimental data shows that in the transition mode  $Re$ , groove depths  $h/D$  from 0.003 to 0.095 and  $t/D = 0,77$ , the heat transfer intensity increases from 141.5 to 155.1. A comparison of experimental data shows an increase in heat transfer in the range of 1.088–1.130 times.

From the data analysis it is clear that reducing the turbulator placement step  $t/D$  from 3.0 to 0.025 leads to an increase in the heat transfer intensity  $Nu$  from 123.3 to 176.9. Conclusions can be drawn to reduce the refrigeration zone and increase the absorption zone only by intensifying heat exchange.

**Keywords:** chemisorption, turbulator, heat exchange intensity, intensity, heat transfer, nozzle, spiral-rolled tube, groove depth, placement step.

**For citation:** Rakhmanova M. I., Frantskevich V. S., Nurmukhamedov H. S., Mavlanov E. T., Nishanova S. H., Lankin R. I. Study of heat transfer in tubular-lattings nozzles with a developed surface. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geology*, 2024, no. 2 (283), pp. 36–42 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-5.

**Введение.** Энерго- и ресурсосбережение можно рассматривать как оптимизацию энергетических и материальных потоков существующих технологических процессов для производства продуктов, а более широко – как поиск новых путей рационального использования энергии, тепла и сырья для получения тех же, а также новых продуктов. Достижение положительных результатов при экономии энергетических ресурсов возможно только при анализе промышленного энергоиспользования, уровней полезного использования энергии, тепла и энергетических потерь на различных промышленных предприятиях, определении основных, наиболее эффективных путей экономии тепла, энергетических ресурсов в промышленности [1, 2].

В современных условиях и в перспективе одним из важных путей повышения экономичности энерготехнологических установок является совершенствование теплообменного оборудования с помощью внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена. Посредством интенсификации теплообмена увеличивается количество тепла, передаваемого через единицу поверхности теплообмена и, соответственно, уменьшаются массогабаритные показатели теплообменника; достигается более выгодное соотношение между передаваемым количеством тепла и мощностью, затрачиваемой на прокачивание теплоносителей. Высокое техническое качество интенсифицированного теплообменного оборудования улучшает общие характеристики энерготехнологических установок [3].

Теплообменные процессы играют большую роль во многих энергетических устройствах и технологической аппаратуре. Теплоэнергетика, ядерная и нетрадиционная энергетика, авиационная и ракетно-космическая техника, химические, пищевые и криогенные технологии – лишь некоторые области, в которых интенсивно используются теплообменные аппараты.

Использование дискретно расположенных кольцевых выступов является одним из наиболее эффективных и исследованных способов интенсификации переноса тепла. Стоит отметить,

что накатка кольцевых каналов достаточно технологична, так как не увеличивает наружный диаметр труб, позволяя использовать данные трубы в тесных пучках, и не меняет существующей технологии сборки теплообменных аппаратов. Кольцевые диафрагмы и канавки турбулизируют поток в пристенном слое и обеспечивают интенсификацию теплообмена как снаружи, так и внутри труб [4].

При закрутке потока местные пристеночные скорости увеличиваются, и общая структура течения изменяется. Закрутка потока в трубах осуществляется при использовании закрученных лент и шнеков, при этом она поддерживается непрерывно по всей длине трубы, что обеспечивает постоянство соотношения тангенциальной и осевой составляющей скорости.

При закрутке потока лентой в поперечном сечении жидкость перетекает от периферии к центру в результате действия градиента давления. Кроме того, жидкость из пограничного слоя проникает в ядра потока. Эти движения приводят к возникновению четырех вихревых областей, которые способствуют усилению теплообмена и совместно с действием центробежных сил уменьшают толщину пограничного слоя. Вихревое смешение также способствует возникновению турбулентного течения при меньших числах  $Re$  [5, 6].

Трубчатые поверхности теплообмена с волнистыми стенками, состоящие из участков конфузоров и диффузоров, изготавливаются путем накатки специальными роликами. Углы расширения диффузоров и конфузоров выбираются по условию получения потока с нестационарными отрывными явлениями. Такие отрывы потока интенсифицируют теплообмен.

Внешняя турбулентность при градиенте давления способствует интенсификации теплообмена. Указанные условия реализуются в рассматриваемом случае следующим образом: турбулентность генерируется в диффузионной области и благоприятно воздействует в конфузорной области. Данные трубы характеризуются относительно низким сопротивлением и высоким теплообменом.

Теплосъем при равном сопротивлении увеличивается приблизительно в 1,5 раза [2, 7].

Методы интенсификации можно разделить на пассивные (не требующие прямых затрат энергии), активные (требующие подвода энергии извне) и комбинированные [8, 9]. Применительно к течению однофазных теплоносителей используются: шероховатые поверхности; развитие поверхности за счет оребрения; закрутка потока завихрителями, установленными на входе в канал; вибрация поверхности; пульсация теплоносителя; воздействие на поток электростатических полей. Высокоэффективным часто оказывается применение комбинированных методов интенсификации (сочетание турбулизаторов с оребрением поверхностей; применение труб с шероховатыми стенками и вставками из витых лент и др.).

**Основная часть.** Работа посвящена поиску эффективных форм поверхностей и различным способам интенсификации конвективного теплообмена [4, 7, 9, 10, 11].

В связи с этим актуальным направлением совершенствования теплообменников является интенсификация теплоотдачи за счет внесения изменений в их конструкцию [12, 13, 14]. Увеличение коэффициентов теплоотдачи позволит снизить габариты теплообменного аппарата и повысить технико-экономические показатели процесса [13, 15, 16].

В трубах со спиральными выступами интенсификация обусловлена совместным действием двух факторов: турбулизацией и разрушением пристеночного слоя течения выступами и закруткой пристеночного потока под действием выступов [6]. Интенсифицирующее воздействие частичной закрутки течения низким выступом (только пристеночной зоны) реализуется через увеличение пристеночной скорости потока. Этот способ, вероятно, следует отнести к комбинированным способам интенсификации теплообмена, так как на поток одновременно действует турбулизация и закрутка.

Прочностные и вибрационные качества накатанных труб почти не уступают гладким трубам, по мнению авторов [17]. Загрязняемость труб со спиральными выступами одинакова с гладкими по весу отложений на  $1 \text{ м}^2$  поверхности. Равноценно у них и влияние загрязняемости на снижение тепловой эффективности [6].

Спиральные выступы в трубе можно образовать посредством установки в них пружинных вставок из проволоки. При малых шагах проволоочной спирали может нарушаться тепловой контакт выступа (проволоки) с поверхностью трубы, поэтому эффект увеличения поверхности теплообмена за счет выступов может существенно падать по сравнению с его проявлением при спиральной накатке. Этот недостаток снижает тепловую эффективность пружинных вставок при малых

шагах относительно накатанных спиральных выступов. При достаточно больших шагах влияние указанного фактора незначительно. Увеличение диаметра проволоки вставки  $h$  всегда приводит к росту гидравлического сопротивления трубы.

Сравнение, проведенное в работе [18], показывает, что наилучшими показателями характеризуются пружинные вставки с относительно большим шагом и диаметром проволоки ( $t/D = 3,1; 2h/D = 0,435$ ).

Теплообмен и гидродинамика в каналах, образованных пучками витых труб, и в витых трубах определяются конструктивными особенностями этих труб [7].

Течение в пучках витых труб является пространственным [19], т. е. наряду с продольной составляющей вектора скорости здесь имеют место поперечные составляющие скорости, которые значительно увеличивают интенсивность межканального перемешивания в пучке. Высокий уровень турбулентности потока, конвективный перенос в масштабе ячейки и организованный перенос в масштабе диаметра пучка благодаря спиральной закрутке потока витыми трубами являются механизмами, определяющими особенности поперечного перемешивания потока в пучке по сравнению с явлениями переноса в круглой прямой трубе.

Любое воздействие на жидкостный или газожидкостный поток сопряжено со значительными энергетическими затратами. Поэтому важным обстоятельством является воздействие на вязкий пристенный слой путем нанесения макрошероховатостей в виде плавно очерченных выступов внутри и канавок снаружи труб.

Объектом исследования являются трубчато-решетчатая насадка из труб с развитой поверхностью и процесс отвода теплоты реакции в холодильных зонах абсорберов.

Исследования по изучению теплообмена при течении жидкостей в трубчато-решетчатой насадке [20] проводились на экспериментальной установке, представляющей собой циркуляционный контур, работающий в условиях постоянства теплового потока. Основными элементами установки являются экспериментальный участок, холодильник, емкости для холодного и горячего теплоносителей, насосы и соединительные трубы с измерителями расхода и температуры и с регулирующими вентилями.

В качестве экспериментального участка использовались гладкие и спирально-накатанные трубы из нержавеющей стали X18H10T с плавно очерченными канавками снаружи и аналогичными выступами внутри. Экспериментальный участок имел длину  $l = 2000$  мм и диаметр  $D = 20 \times 1$  мм. Относительная глубина канавок составляла  $h/S = 0,009-0,095$ , и обеспечивалось

число Рейнольдса  $Re = (0,25-0,98) \cdot 10^4$ . Измерение температуры стенки осуществлялось хромель-копелевыми термопарами с проволокой диаметром 0,1 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в трубе: первая и последняя термопара устанавливались на расстоянии от торца трубы с отступом 100 мм, а остальные термопары – через каждые 150 мм. Погрешности измерения расходов и температур –  $\pm 2,4$  и  $\pm 0,39\%$  соответственно.

В каждом эксперименте проверялся тепловой баланс, и тепловые потери в диапазоне изменения режимных параметров не превышали  $\pm 3\%$ . Экспериментальные данные обрабатывались известными методами.

*Обсуждение результатов исследований.* Зависимость интенсивности теплообмена  $Nu$  от безразмерной относительной глубины  $h/D$  плавно очерченных спиральных канавок при омывании при абсорбции аммиака аммонизированным рассолом представлена на рисунке.

Из функциональной зависимости  $Nu = f(h/D)$  видно, что при увеличении значений относительной глубины турбулизатора  $h/D$  перенос тепла возрастает для всех исследованных шагов размещения турбулизаторов  $t/D$ .

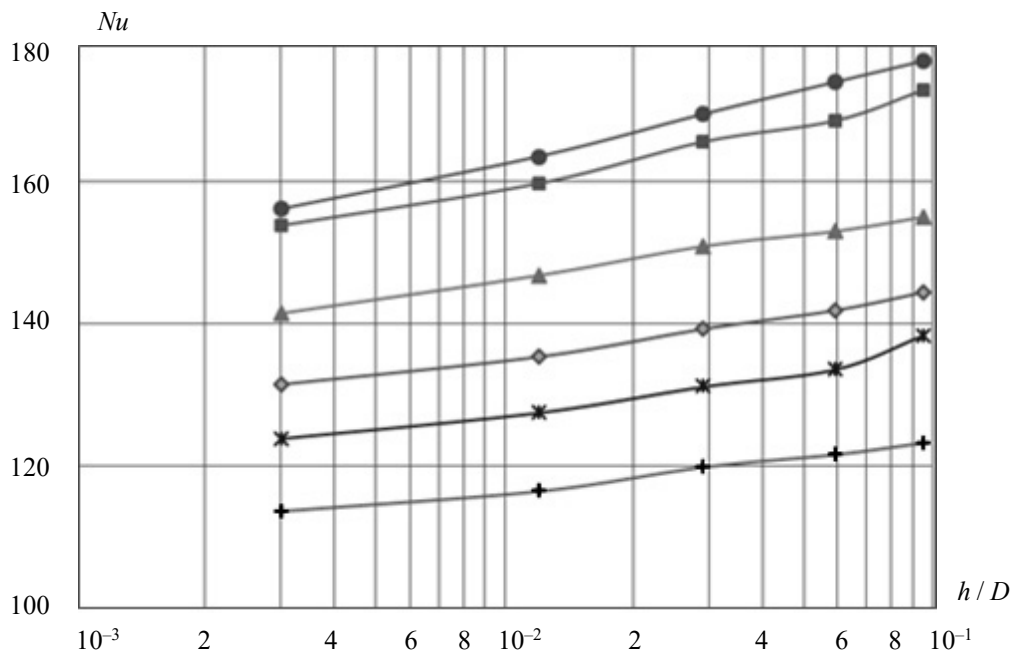
При числах Рейнольдса, соответствующих переходному режиму течения потока, и шаге размещения турбулизаторов с повышением численных значений безразмерной глубины канавок  $h/D$  от 0,003 до 0,095 и  $t/D = 0,77$  интенсивность теп-

лообмена  $Nu$  возрастает от 141,5 до 155,1. Сравнение экспериментальных данных показывает рост переноса тепла в пределах 1,088–1,130 раза. Однако вместе с тем надо отметить и повышение гидравлического сопротивления с ростом переноса тепла, что диктует выявление оптимальных конструктивных параметров нанесения турбулизаторов.

Влияние шага размещения плавно очерченных турбулизаторов можно рассмотреть на примере для  $h/D = 0,095$ . Как видно из графика, снижение численных значений безразмерного шага размещения турбулизаторов  $t/D$  с 3,0 до 0,025 приводит к увеличению интенсивности теплообмена  $Nu$  со 123,3 до 176,9. Влияние шага размещения турбулизаторов по длине трубы значительно по сравнению с безразмерной глубиной плавно очерченных канавок снаружи и выступов внутри.

Анализ графика  $Nu = f(h/D)$  показывает, с учетом изменения гидравлического сопротивления с ростом глубины канавок (или выступов), что оптимальная область приходится на интервал безразмерной высоты  $h/D \approx 0,004-0,080$ , в которой интенсивность теплоотдачи больше, чем гидравлическое сопротивление.

Вместе с тем необходимо отметить, что в оптимальной области глубины накатки плавно очерченных канавок интенсификация теплоотдачи приходится на умеренный рост гидравлического сопротивления.



Зависимость интенсивности теплообмена от безразмерной относительной глубины  $h/D$  плавно очерченных спиральных канавок при омывании при абсорбции аммиака аммонизированным рассолом:

● –  $t/D = 0,025$ ; ■ –  $t/D = 0,052$ ; ▲ –  $t/D = 0,077$ ;  
◆ –  $t/D = 1,0$ ; \* –  $t/D = 2,0$ ; + –  $t/D = 3,0$

**Заключение.** Большинство промышленных абсорберов в производстве кальцинированной соды в основном состоят из двух зон: абсорбционной и холодильной, причем соотношение этих частей в основном 0,55 : 0,45.

Необходимость отвода теплоты экзотермической реакции при контакте газовой и жидкой фаз требует больших теплообменных поверхностей и расхода охлаждающей воды. Удовлетворение вышеуказанными устройствами возможно только путем интенсификации теплообмена, которая позволит уменьшить холодильную и увеличить абсорбционную зоны. Применение трубчато-решетчатых насадок из труб с развитой поверхностью теплообмена, в частности спирально-

накатанных, имеет следующие достоинства: технология нанесения плавного очерченного турбулизатора проста; нанесение спиралевидных, плавного очерченных канавок снаружи и аналогичных выступов-турбулизаторов внутри не влияет на наружный диаметр трубы и соответственно технология сборки не меняется; в спирально-накатанных трубах поток жидкости осуществляет не только поступательное, но и вращательное движение; интенсификация теплообмена сопровождается умеренным ростом гидравлического сопротивления; применение подобных труб в химическом аппаратостроении позволит снизить металлоемкость и создать компактные теплообменные устройства и аппараты.

### Список литературы

1. Нурмухамедов Х. С., Темиров О. Ш., Туробжонов С. М. ва б. Газларни кайта ишлаш технологияси, жараён ва курилмалари. Ташкент: Шарк, 2016. 856 б.
2. Лаптев А. Г., Николаев Н. А., Башаров М. М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. М.: Теплотехник, 2011. 335 с.
3. Москичев Ю. А., Григоричев А. К., Павлов О. С. Теоретические основы химической технологии. М.; СПб: Лан, 2016. 272 с.
4. Эффективные теплообменные поверхности / Э. К. Калинин [и др.]. М.: Машиностроение, 1999. 423 с.
5. Тарасевич С. Э., Злобин А. В., Яковлев А. Б. Гидродинамика и теплообмен при движении однофазной жидкости в трубах с искусственной шероховатостью // ТВТ. 2015. Т. 53. Вып. 6. С. 938–952.
6. Разработка фундаментальных основ создания прототипов энергоэффективных теплообменников с поверхностной интенсификацией теплообмена / А. И. Леонтьев [и др.] // Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. 2006. Т. 6. С. 253–257.
7. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / Б. В. Дзюбенко [и др.]; ред. Ю. А. Кузма-Кичта. М.: ЦНИИАтоминформ, 2008. 532 с.
8. Попов И. А., Гортышов Ю. Ф., Олимпиаев В. В. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) // Теплоэнергетика. 2012. № 1. С. 3–14.
9. Bejan A., Kraus A. D. Heat transfer handbook. Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons, Inc, 2003. 1427 p.
10. Гортышов Ю. Ф., Олимпиаев В. В., Байгалиев Б. Е. Теплогидравлический расчет и проектирование оборудования с интенсифицированным теплообменом. Казань: Казан. гос. техн. ун-т, 2004. 432 с.
11. Rohsenow W. M., Hartnett J. P., Cho Y. I. Handbook of heat transfer. New York: Mc. Graw-Hill Professional, 1998. 1344 p.
12. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен. М.: МЭИ, 2005. 550 с.
13. Бальчугов А. В., Кустов Б. О. Разработка нового аппарата воздушного охлаждения // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2019. Т. 1, № 16. С. 55–58.
14. Горобец В. Г. Теплообмен и оптимальные геометрические поверхности с интенсификаторами в виде полуцилиндрических выступов (или впадин) // Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. 2006. Т. 6. С. 187–191.
15. Хикматова Н. Г. Способы повышения эффективности работы теплообменников // International scientific and practical conference world science. 2017. Vol. 1, no. 1 (17). P. 12–14.
16. Макеев А. Н., Широков М. С. Теплообменные аппараты с подвижной поверхностью теплообмена // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 1. С. 93–97.
17. Бродов Ю. М., Рябчиков А. Ю., Аронсон К. Э. Исследование ряда методов интенсификации теплообмена в энергетических теплообменных аппаратах // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. 2002. Т. 6. С. 49–56.
18. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144 с.
19. Дзюбенко Б. В., Попов А. А. Интенсификация теплообмена и анализ методов сравнения теплогидравлической эффективности теплопередающих поверхностей // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: труды XV школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А. И. Леонтьева. 2005. Т. 1. С. 63–66.
20. Карбонизационная колонна: пат. UZ 06102 / Х. С. Нурмухамедов, Э. Т. Мавланов, С. Г. Закиров, К. Ф. Каримов, О. Ш. Темиров. Опубл. 23.12.2019.

## References

1. Nurmukhamedov Kh. S., Temirov O. Sh., Turobzhonov S. M. va b. *Gazlarni kajta ishlash texnologiyasi, zharayon va kurilmalari* [Gas processing technology, processes and devices]. Tashkent, Sharq Publ., 2016. 856 p. (In Uzbek).
2. Laptev A. G., Nikolaev N. A., Basharov M. M. *Metody intensivatsii i modelirovaniya teplomassoobmennykh processov* [Methods of intensification and modeling of heat and mass transfer processes]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2011. 335 p. (In Russian).
3. Moskichev Yu. A., Grigorichev A. K., Pavlov O. S. *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology]. Moscow, St. Petersburg, Lan Publ., 2016. 272 p. (In Russian).
4. Kalinin E. K., Dreitzer G. A., Myakochin A. S., Kopp A. N. *Effektivnyye teploobmennyye poverkhnosti* [Effective heat transfer surfaces]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1999. 423 p. (In Russian).
5. Tarasevich S. E., Zlobin A. V., Yakovlev A. B. Hydrodynamics and heat transfer during the movement of a single-phase fluid in pipes with artificial roughness. *TVT* [High Temp.], 2015, vol. 53, no. 6, pp. 938–952 (In Russian).
6. Leontiev A. I., Gortyshov Yu. F. Development of fundamental principles for creating prototypes of energy-efficient heat exchangers with surface intensification of heat transfer. *Trudy chetvertoy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu* [Proceedings of the fourth Russian national conference on heat transfer], 2006, vol. 6, pp. 253–257 (In Russian).
7. Dzyubenko B. V. *Intensifikatsiya teplo- i massoobmena na makro-, mikro- i nanomasshtabakh* [Intensification of heat and mass transfer on macro-, micro- and nanoscales]. Moscow, TsNIIatominform Publ., 2008. 532 p. (In Russian).
8. Popov I. A., Gortyshov Yu. F., Olimp'ev V. V. Industrial application of heat transfer intensification – the current state of the problem (review). *Teploenergetika* [Thermal power engineering], 2012, no. 1, pp. 3–14 (In Russian).
9. Bejan A., Kraus A. D. *Heat transfer handbook*. Hoboken, N. J., John Wiley & Sons, Inc, 2003. 1427 p.
10. Gortyshov Yu. F., Olimp'ev V. V., Baygaliev B. E. *Teplogidravlicheskiy raschet i proektirovaniye oborudovaniya s intensivirovannym teploobmenom* [Thermohydraulic calculation and design of equipment with intensified heat transfer.]. Kazan, Kazan State Tech. Univ. Publ., 2004. 432 p. (In Russian).
11. Rohsenow W. M., Hartnett J. P., Cho Y. I. *Handbook of heat transfer*. New York, Mc. Graw-Hill Professional, 1998. 1344 p.
12. Tsvetkov F. F., Grigoriev B. A. *Tplomassoobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow, MEI Publ., 2005. 550 p. (In Russian).
13. Balchugov A. V., Kustov B. O. Development of a new air cooling device. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific works of Angarsk State Technical University], 2019, vol. 1, no. 16, pp. 55–58 (In Russian).
14. Gorobets V. G. Heat transfer and optimal geometric surfaces with intensifiers in the form of semi-cylindrical protrusions (or depressions). *Trudy chetvertoy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu* [Proceedings of the fourth Russian national conference on heat transfer], 2019, vol. 6, pp. 187–191 (In Russian).
15. Khikmatova N. G. Methods for increasing the efficiency of heat exchangers. *International scientific and practical conference world science*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 12–14 (In Russian).
16. Makeev A. N., Shirov M. S. Heat exchangers with a moving heat exchange surface. *Sovremennyye tendentsii razvitiyya nauki i tekhnologii* [Modern trends in the development of science and technology], 2017, no. 1, pp. 93–97 (In Russian).
17. Brodov Yu. M., Ryabchikov A. Yu., Aronson K. E. Study of a number of methods for intensifying heat transfer in energy heat exchangers. *Trudy tret'yey Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu* [Proceedings of the third Russian national conference on heat transfer], 2002, vol. 6, pp. 49–56 (In Russian).
18. Migai V. K. *Povysheniye effektivnosti sovremennykh teploobmennikov* [Increasing the efficiency of modern heat exchangers]. Leningrad, Energy Publ., 1980. 144 p. (In Russian).
19. Dzyubenko B. V., Popov A. A. Intensification of heat transfer and analysis of methods for comparing the thermohydraulic efficiency of heat transfer surfaces. *Problemy gazodinamiki i teploobmena v energeticheskikh ustanovkakh: trudy XV shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov pod rukovodstvom akademika RAN A. I. Leont'eva* [Problems of gas dynamics and heat transfer in power plants: proceedings of the XV school-seminar of young scientists and specialists under the leadership of Academician of the Russian Academy of Sciences A. I. Leontiev], 2005, vol. 1, pp. 63–66 (In Russian).
20. Nurmukhamedov Kh. S., Mavlanov E. T., Zakirov S. G., Karimov K. F., Temirov O. Sh. Carbonization column. Patent UZ 06102, 2019 (In Russian).

### Информация об авторах

**Рахманова Мухаббат Исмаиловна** – старший преподаватель кафедры пищевых технологий. Ургенчский государственный университет (220100, г. Ургенч, ул. Х. Алимджана, 14, Республика Узбекистан). E-mail: muxabbatrahmanova76@gmail.com

**Францкевич Виталий Станиславович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: fvs\_maxp@belstu.by

**Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич** – профессор кафедры технологических машин и оборудования. Ташкентский химико-технологический институт (100011, г. Ташкент, ул. Навои, 32, Республика Узбекистан). E-mail: haasbek1952@gmail.com

**Мавланов Элбек Тулкинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования. Ташкентский химико-технологический институт (100011, г. Ташкент, ул. Навои, 32, Республика Узбекистан). E-mail: elbek198181@gmail.com

**Нишанова Садокат Хабибуллаевна** – старший преподаватель кафедры технологических машин и оборудования. Ташкентский химико-технологический институт (100011, г. Ташкент, ул. Навои, 32, Республика Узбекистан). E-mail: sadosha1811@gmail.com

**Ланкин Роман Игоревич** – ассистент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: roman1471@icloud.com

### Information about the authors

**Rakhmanova Mukhabbat Ismailovna** – Senior Lecturer, the Department of Food Technologies. Urgench State University (14, Kh. Alimdjani str., 220100, Urgench, Republic of Uzbekistan). E-mail: muxabbatrahmanova76@gmail.com

**Frantskevich Vitaliy Stanislavovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Silicate Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: fvs\_maxp@belstu.by

**Nurmukhamedov Habibulla Sagdullayevich** – Professor, the Department of Technological Machines and Equipment. Tashkent Institute of Chemical Technology (32, Navoi str., 100011, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: haasbek1952@gmail.com

**Mavlanov Elbek Tulkinovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Technological Machines and Equipment. Tashkent Institute of Chemical Technology (32, Navoi str., 100011, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: elbek198181@gmail.com

**Nishanova Sadokat Habibullayevna** – Senior Lecturer, the Department of Technological Machines and Equipment. Tashkent Institute of Chemical Technology (32, Navoi str., 100011, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: sadosha1811@gmail.com

**Lankin Roman Igorevich** – Assistant Lecturer, the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Silicate Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: roman1471@icloud.com

*Поступила 13.06.2024*