

12-28-2019

Calculation Of Heat Exchange Intensity At Gas-Liquid Flow Washing Tube-Lattice Nozzles

Elbek Tulkinovich Mavlonov

Tashkent Chemical Technological Institute, Assistant of the department of "Processes and apparatus of chemical technology" Tashkent, Republic of Uzbekistan. Phone:+998974317012;; elbek8181@mail.ru

Zakirova Nafisa Sanatovna

Tashkent State Technical University, docent of the department of "Refrigeration and cryogenic equipment" Tashkent city, Republic of Uzbekistan. Phone: +998712144862;

Kudratilla Fuadovich Karimov

Tashkent State Technical University, doctor of technical science, docent head of the department of "Refrigeration and cryogenic equipment" Tashkent, Republic of Uzbekistan, Phone:+998903251473,, q.karimov@tdtu.uz

Khabibulla Sagdullaevich Nurmukhamedov

Tashkent Chemical Technological Institute, doctor of technical science, professor of the department of "Processes and apparatus of chemical technology" Tashkent, Republic of Uzbekistan, Phone:+998974009701., has-bek@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm>

 Part of the [Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Mavlonov, Elbek Tulkinovich; Sanatovna, Zakirova Nafisa; Karimov, Kudratilla Fuadovich; and Nurmukhamedov, Khabibulla Sagdullaevich (2019) "Calculation Of Heat Exchange Intensity At Gas-Liquid Flow Washing Tube-Lattice Nozzles," *Chemical Technology, Control and Management*. Vol. 2019 : Iss. 5 , Article 1.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2019/iss5/1>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Chemical Technology, Control and Management by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

Calculation Of Heat Exchange Intensity At Gas-Liquid Flow Washing Tube-Lattice Nozzles

Cover Page Footnote

Tashkent State Technical University, SSC «UZSTROYMATERIALY», SSC «UZKIMYOSANOAT», JV «SOVPLASTITAL», Agency on Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan

Erratum

?????



UDC 536.24.02

CALCULATION OF HEAT EXCHANGE INTENSITY AT GAS-LIQUID FLOW WASHING TUBE-LATTICE NOZZLES

Mavlonov Elbek Tulkinovich¹, Zakirova Nafisa Sanatovna², Karimov Kudratilla Fuadovich³,
Nurmukhamedov Khabibulla Sagdullaevich⁴

¹Tashkent Chemical Technological Institute, Assistant of the department of “Processes and apparatus of chemical technology”
Tashkent, Republic of Uzbekistan.

E-mail: elbek8181@mail.ru, Phone: +998974317012;

²Tashkent State Technical University, docent of the department of “Refrigeration and cryogenic equipment” Tashkent city,
Republic of Uzbekistan. Phone: +998712144862;

³Tashkent State Technical University, doctor of technical science, docent head of the department of “Refrigeration and
cryogenic equipment” Tashkent, Republic of Uzbekistan.

E-mail: q.karimov@tdtu.uz, Phone: +998903251473;

⁴Tashkent Chemical Technological Institute, doctor of technical science, professor of the department of “Processes and
apparatus of chemical technology” Tashkent, Republic of Uzbekistan.

E-mail: has-bek@mail.ru, Phone: +998974009701.

Abstract: Several experiments were conducted on removing the heat of reaction upon contact of carbon dioxide with purified brine. Pipes with a developed heat exchange surface formed by spiral grooves on the outside and similar protrusions inside the pipes are used for effective conduction. The experiments were carried out on two and four pipes with different pitch and depth of grooves, i.e. $h/S = 0.017-0.095$. Studies on the intensification of convective heat exchange when washing a bundle of spiral-rolled pipes with a gas-liquid flow have found an increase in heat transfer by 1.8-2.7 times compared to a smooth pipe. Such a high intensification allows to make tubular lattice nozzles more compact while maintaining the thermal load. Experimental data are generalized and a criterion formula for calculating the heat transfer intensity during the gas-liquid flow in the inter-tube space is obtained. The obtained results can be used in the calculation and design of column apparatuses in which the heat of the reaction occurs at the contact of phases.

Key words: gas-liquid flow, tubular-lattice nozzle, intensification, heat transfer, spiral-rolled pipe, criterion formula.

Аннотация: Углерод диоксидини тозаланган намоқоб билан тўқнашиши даврида реакция иссиқлигини ажратиб олиш бўйича тажриба изланишлари ўтказилган. Жараён самарали кечиши учун ташқи юзасида спиралсимон ариқчалар ва ички юзасида силлиқ бўртиқликлар бўлган юзаси катта қувурлар қўлланилган. Тажрибалар текис қувур ва тўртта қадами ҳамда чуқурлиги ҳар хил, яъни $h/S=0,017-0,095$ бўлган қувурларда изланишлар қилинган. Газ-сууюқлик оқими ва совуқ сув ўртасида иссиқлик алмашиши бўйича тажрибалар шуни кўрсатди-ки, текис қувурга қараганда спирал-ўрамли қувурда иссиқлик алмашиши 1,8-2,7 мартагача юқори. Бундай жараённинг жадаллашуви бир хил иссиқлик юкламада қувур панжарали насадкани ихчам қилиш имконини беради. Тажриба натижалари умумлаштирилган ва критериял формула келтириб чиқарилган. Олинган натижаларни фазалар тўқнашиши оқибатида реакция иссиқлиги ажратиб чиқадиган колонналарни ҳисоблаш ва лойиҳалашда қўллаш мумкин.

Таянч сўзлар: газ-сууюқлик оқими, қувур панжарали насадка, интенсивлаш, иссиқлик алмашиши, спирал-ўрамли қувур, критериял формула.

Аннотация: проведены экспериментальные исследования по отводу теплоты реакции при контакте углекислого газа с очищенным рассолом. Для эффективного проведения использованы трубы с развитой поверхностью теплообмена, образованные спиральными канавками снаружи и аналогичными выступами внутри труб. Опыты проведены на гладкой и четырех трубах с различным шагом и глубиной канавок, т.е. $h/S=0,017-0,095$.

Исследованиями по интенсификации конвективного теплообмена при омывании пучка спирально-накатанных труб газожидкостным потоком установлено повышение переноса тепла в 1,8-2,7 раза по сравнению с гладкой трубой. Столь высокая интенсификация позволяет сделать трубчато-решетчатые насадки более компактными при сохранении тепловой нагрузки. Опытные данные обобщены и получена критериальная формула для расчета интенсивности теплообмена при течении газожидкостного потока в межтрубном пространстве. Полученные результаты можно использовать при расчете и проектировании колонных аппаратов, в которых происходит выделение тепла реакции при контакте фаз.

Ключевые слова: газожидкостной поток, трубчато-решетчатая насадка, интенсификация, теплообмен, спирально-накатанная труба, критериальная формула.

В производстве кальцинированной соды для карбонизации аммонизированного рассола используется аппарат колонного типа, состоящий из двух зон: абсорбционной и холодильной. Причем, холодильная зона оснащена трубно-решетчатыми тарелками. В нижней части колонны 8 холодильных царг, в каждой из которых в шахматном порядке установлены 225 труб диаметром 50x2 мм. В трубном пространстве движется охлаждающая вода, а в межтрубном – рассол, который контактирует с аммиаком или углекислым газами. Естественно, при поглощении газа NH_3 и CO_2 выделяется тепло реакции, которое необходимо отводить для интенсификации процесса абсорбции [1,2,3].

Многоплановость вопроса интенсификации конвективного теплообмена предопределяет наличие большого количества путей его решения. Целью процесса интенсификации теплообмена является повышение соотношения между количеством отводимого от поверхности тепла и потерями напора на прокачку теплоносителя. На решение этой задачи накладываются ограничения по росту энергозатрат, возможности использования определенного теплоносителя, технологической приемлемости. В связи с этим, простое увеличение скорости набегающего потока, приводящее к утонению пограничного слоя, но связанное с быстрым ростом гидродинамического сопротивления, ограничено в своем применении [6].

На интенсивность процесса теплообмена влияет - форма поверхности канала (цилиндрические, сферические углубления на обтекаемых поверхностях [7-10]), эквивалентный диаметр канала, шероховатость поверхности, компоновка каналов, обеспечивающая оптимальные скорости движения рабочих сред, температурный напор, наличие турбулизирующих элементов в каналах, оребрение и другие конструктивные особенности.

Наиболее эффективным был бы такой метод интенсификации, который бы обеспечил дополнительную турбулизацию только пристенных слоев жидкости, не турбулизируя ядро потока. Можно ожидать, что именно такой метод интенсификации теплообмена обеспечит существенное увеличение коэффициента теплоотдачи при умеренном росте коэффициента сопротивления, т.е. обеспечит получение неравенства [5]:

$$\frac{Nu}{Nu_0} > \frac{\xi}{\xi_0}, \quad (1)$$

где Nu - критерий Нуссельта; ξ - коэффициент гидравлического сопротивления. Индекс «0» относится к гладкой трубе.

Основными способами интенсификации теплообмена являются [4,7,8,10,11,13,14,15]: воздействие на микроструктуру потока среды формой поверхности теплообмена; воздействие на микро- и макроструктуру потока дополнительной турбулизацией шероховатостью; увеличение площади поверхности теплообмена со стороны рабочей среды с низким коэффициентом теплоотдачи; механическое воздействие на поверхность теплообмена (вибрация, пульсация и т.д.); воздействие на поток полем (электромагнитным, акустическим); вдув или отсос рабочей среды через проницаемую теплоотдающую поверхность; добавка в поток твердых частиц или газовых пузырьков.

В работах Калинина Э.К. описаны исследования теплообмена и гидродинамики в переходной области течения в продольно-омываемом шахматном пучке труб с $S/D=1,2$ [5]. Характерно, что в продольно-омываемом пучке при переходе из ламинарной области течения в турбулентную, коэффициент сопротивления изменяется плавно, без скачка. Сначала турбулентное течение возникает в широкой части межтрубного пространства, тогда как в узких местах продолжает существовать ламинарное течение, затем по мере роста числа Re , турбулентное ядро расширяется и при больших Re проникает и в узкие области межтрубного пространства.

Существует множество способов и устройств для интенсификации теплообмена с обеих сторон труб. Но, наиболее приемлемым по всем параметрам являются трубы с кольцевыми и спиральными канавками, витые трубы и трубы типа «диффузор-конфузор». Однако, изготовление последнего сопряжено с большими трудностями, и поэтому его применение в аппаратостроении не является возможным. Остальные теплообменные трубы отличаются высокой технологичностью, простотой конструкции и не меняют существующую технологию сборки теплообменных аппаратов. Особенно интересны трубы с кольцевыми и спиральными канавками, т.к. они обеспечивают опережающий рост интенсивности теплообмена по сравнению с ростом гидравлического сопротивления.

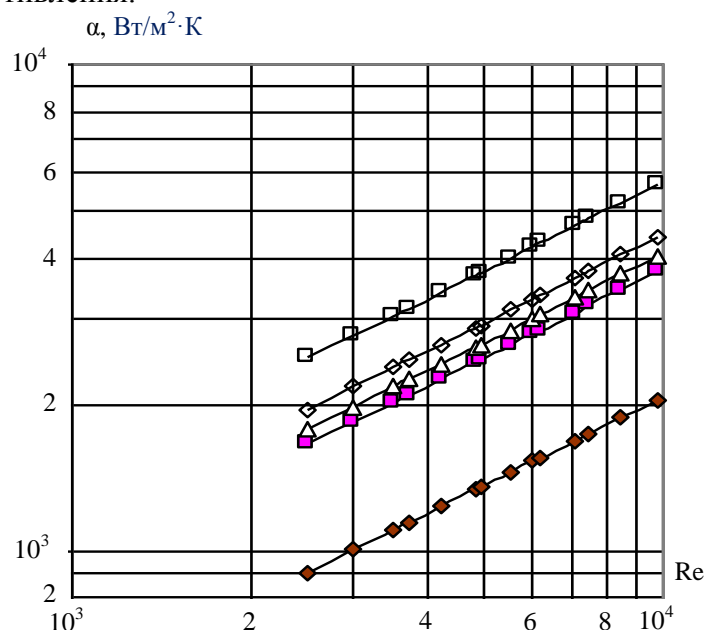


Рис.1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от α числа Re при обтекании пучка спирально-накатанных труб вязкими растворами:

◆ – гладкая труба; □ – спирально-накатанные трубы $t/D=0,5$; ■ - $h/S=0,017$; △ - $h/S=0,023$; ◇ - $h/S=0,034$; □ - $h/S=0,095$.

Экспериментальные исследования по охлаждению аммонизированного рассола с 60 до 32°C проведены при изменении числа Рейнольдса аммонизированного рассола $Re=2000-9800$, относительном шаге накатки спиральных канавок $h/S = 0,017-0,095$ и средней температуре охлажденной воды $t=20-25^\circ\text{C}$. Опыты проведены как на гладкой, так и на 4-х спирально-накатанных трубах.

Исследования теплообмена при вязкостно-гравитационном режиме течения жидкости проводились на двух экспериментальных установках, где подвод тепла осуществлялся по закону $t_c=\text{const}$ и $q_c=\text{const}$. Нагрев рассола осуществлялся путем пропускания переменного электрического тока в жидкостные ТЭН. Опытный участок представляет собой трубу из нержавеющей стали 1X18H10T диаметром $d=30 \times 1$ мм, длиной $l=2200$ мм. Длина обогреваемого участка 70 калибров,

длина успокоительного участка 20 калибров. В стенке трубы было заделано пятнадцать термопар хромель-алюмель. Это позволило получить наиболее полную картину распределения температуры стенки t_s и теплоотдачи по периметру трубы [4].

Экспериментальные данные по теплообмену при обтекании пучка гладких труб жидкостями, хорошо согласуются с подобными данными, полученными по расчетной формуле для переходного режима течения [5].

Опыты проведены как на гладкой, так и на 4-х спирально-накатанных трубах (рис. 1) и представлена в виде функции $\alpha=f(Re)$ для гладкой трубы и 4-х труб с различным шагом спиральных канавок. Обобщение данных производилось по общеизвестной формуле [16; с.152-218]. Как видно из рисунка, с ростом скорости потока интенсивность теплоотдачи возрастает для всех труб. Так, для гладкой трубы при $Re=2500$ коэффициент теплоотдачи равен $\alpha=901$, при $Re=6000$ величина $\alpha=1524$ и соответственно при $Re=9800$ значение коэффициента теплоотдачи равно $\alpha=2046 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Сравнение показывает, что с увеличением числа Рейнольдса потока с 2500 до 9800 интенсивность теплоотдачи возрастает в 2,27 раза. Экспериментальными исследованиями установлено, для трубы с шагом накатки $h/S=0,017$ при $Re=2500$ коэффициент теплоотдачи равен $\alpha=1652$, при $h/S=0,023$ величина $\alpha=1776$, при $h/S=0,034$ значение коэффициента $\alpha=1945$ и соответственно при $h/S=0,095$ - $\alpha=2495 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [17].

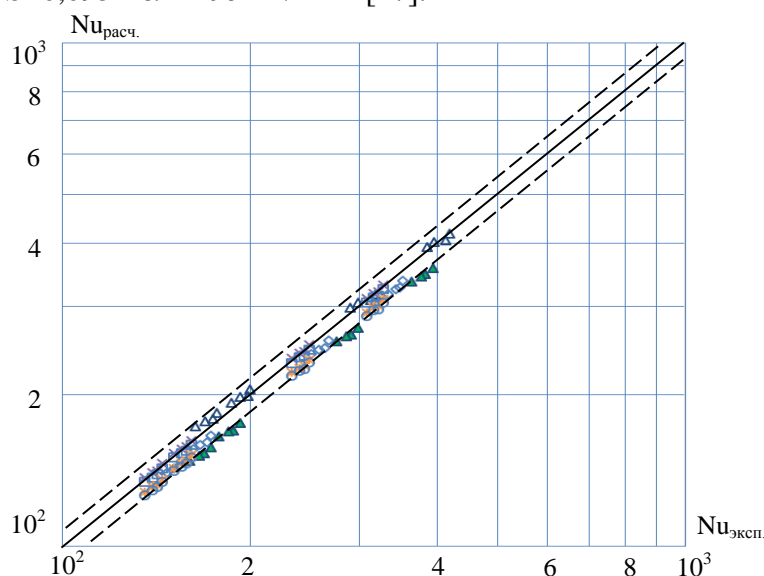


Рис.2. Сопоставление экспериментальных данных по интенсивности теплообмена $Nu_{\text{эксп}}$ с расчетными $Nu_{\text{расч}}$ при течении высоковязких жидкостей в межтрубном пространстве трубчато-решетчатых насадков.

Δ - $t/D=0,21$; \blacktriangle - $t/D=0,6$; \diamond - $t/D=0,88$; \times - $t/D=1,0$; \square - $t/D=1,14$. $*$ - $t/D=1,55$; \circ - $t/D=1,7$;

Анализ данных показывает, что с ростом параметра h/S интенсивность теплоотдачи по сравнению с гладкой трубой увеличилась в 1,8-2,7 раза. Это объясняется уменьшением пограничного слоя вследствие нанесения спиральных канавок и турбулизации потока при обтекании пакета труб.

Обобщением опытных данных по интенсивности теплообмена при течении вязкой жидкости в межтрубном пространстве выведена следующая критериальная формула:

$$Nu = 0,597 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_0} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{t}{D} \right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{h}{S} \right)^{0,3} \quad (2)$$

Формула (2) справедлива в интервале изменения числа Рейнольдса $Re=(0,23-0,98)\cdot 10^4$, $t/D=0,21-20$ и $h/S=0,017-0,095$. Погрешность формулы не превышает $\pm 7,3\%$ (рис.2).

Исследования показали, что при омывании трубчато-решетчатой насадки из пучка спирально-накатанных труб происходит турбулизация потока с образованием вихрей при омывании плавно очерченных канавок. Данный эффект оказывает положительное влияние на интенсивность переноса тепла, а, следовательно, и процесса поглощения CO_2 аммонизированным рассолом в колонном аппарате с трубно-решетчатыми насадками.

В заключение необходимо подчеркнуть, что создание строго дозированных, направленных локальных и вихревых эффектов в потоке, возбудителем которых являются плавно очерченные турбулизаторы, описывающие спираль по внешней поверхности трубы с определенным шагом, позволяет создать необходимую структуру потока и управлять течением потока жидкости. Однако, есть важная отличительная особенность пучка из подобных труб с развитой поверхностью теплообмена, которая заключается в том, что интенсификация переноса тепла сопровождается умеренным ростом гидравлического сопротивления. Столь значительная интенсификация теплообмена позволяет при неизменной тепловой нагрузке пропорционально сократить необходимую поверхность теплообмена. Причем, технология изготовления трубчато-решетчатых насадок из труб со спиральными турбулизаторами сохраняется без изменения.

Referenses:

1. Linkevich V.A. *Texnologiya kalsinirovannoy sodi*. // Tashkent: GAK «Uzkimyosanoat», 2005. -96 s.
2. Axmetov A.X. *Ximicheskaya texnologiya neorganicheskix veshstv*. -M.:Visshaya shkola, 2002.- t.1-2.-533 s.
3. Xeksel L.K. *Metodologiya sovershenstvovaniya sodovogo proizvodstva na osnove sistemnogo podxoda / Avtoref. diss...dokt. texn. nauk, M.: 2008. - 35 s.*
4. Kern D., Kraus A. *Razvitiye poverxnosti teploobmena*. // M.: Energiya, 1977.-464 s.
5. Kalinin E. K. i dr. *Intensifikatsiya teploobmena v kanalax*. // M.: Mashinostroyeniye, 1981.
6. Kishkin A.A., Krayev M.V., Zuev A.A. *Intensifikatsiya teploobmena - Krasnoyarsk.: Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta, 2005. - S. 130-134.*
7. Chudnovskiy Y.P. *Intensifikatsiya teploobmena generatsiyey vixrey // Diss... kand. texn. nauk (05.14.05) - Moskva, 1990. -196 s.*
8. Gortishov Y.F., Popov I.A., Olimpiyev V.V., Shelchkov A.V., Kaskov S.I. *Teplogidravlicheskaya effektivnost perspektivnix sposobov intensivatsii teplootdachi v kanalax teploobmennogo oborudovaniya. Intensifikatsiya teploobmena: monografiya / pod obsh. red. Y.F.Gortishova. – Kazan: Sentr innovatsionnix texnologiy, 2009. – 531 s.*
9. Dreyser G.A. *Sovremenniye problemi intensivatsii teploobmena v kanalax // Injenerno-fizicheskij jurnal.2001.T.74. №4. S.33-40.*
10. *Protsessi i apparati ximicheskoy texnologii: ucheb. dlya stud. Vuzov / pod red. A.A.Zaxarovoy. - M.: Akademiya, 2006. - 528 s.*
11. Migay V.K., Firsova E.V. *Teploobmen i gidravlicheskiye soprotivleniye puchkov trub*. // L.: Nauka, 1986.
12. Dzyubenko B.V., Dreitser G.A., Yakimenko R.I. *Methodics of Optimum Configuration Choice for Heat Transfer Surfaces of Space Heat Exchangers // Proc. of the First Int.Conf. on Aerospace Heat Exchangers Techology (Palo Alto, USA, 1998), Amsterdam-London: Elseveir, 1998, p.369-389.*
13. Dzyubenko B.V., Dreyser G.A., L-V.A.Ashmantas. *Nestatsionarniy teploobmen v puchkax vitix trub*. // M.: Mashinostroyeniye, 1988.
14. Bajan V.P., Kanevets G.YE., Seliverstov V.M. *Spravochnik po teploobmennim apparatam*. // M.: Mashinostroyeniye, 1989.
15. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G. *Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. - Toshkent, Fan va texnologiyalar, 2015. - 848 b.*
16. Bajan V.P., Kanevets G.YE., Seliverstov V.M. *Spravochnik po teploobmennim apparatam. - M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 366 s.*
17. Mavlonov E.T., Zakirov S.G., Sagdullayev U.X., Nurmuxamedov X.S. *Vliyaniye shaga nakatki spiralnix kanavok na teplootdachu pri obtekanii puchka trub vyazkimi jidkostyami // Tez.dokl. resp.nauch.-texn.konf «Sovremenniye texnologii i innovatsii gorno-metallurgicheskoy otrasli» Navoi, 24-26 maya 2012.- s.382-383.*