

ISSN 2224-5286

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ХИМИЯ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ
ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ**



**SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

1 (415)

**ҚАҢТАР – АҚПАҢ 2016 ж.
ЯНВАРЬ – ФЕВРАЛЬ 2016 г.
JANUARY – FEBRUARY 2016**

**1947 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1947 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1947**

**ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR**

**АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK**

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі
М. Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғазалиев А.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Ерғожин Е.Е.** (бас редактордың орынбасары); хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пірәлиев К.Д.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баешов А.Б.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Бүркітбаев М.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жүсіпбеков У.Ж.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Итжанова Х.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Молдахметов М.З.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рахымов К.Д.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Тәшімов Л.Т.**; хим. ғ. докторы, проф. **Мансұров З.А.**; техн. ғ. докторы, проф. **Наурызбаев М.К.**

Р е д а к ц и я к е ң е с і:

Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Агабеков В.Е.** (Беларусь); Украинаның ҰҒА академигі **Волков С.В.** (Украина); Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Жоробекова Ш.Ж.** (Қырғызстан); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Мангашян А.А.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Туртэ К.** (Молдова); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Фарзалиев В.** (Әзірбайжан); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Халиков Д.Х.** (Тәжікстан); хим. ғ. докторы, проф. **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы); философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

М. Ж. Журинов

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **Е.Е. Ергожин** (заместитель главного редактора); доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **К.Д. Пралиев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Б. Башов**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.М. Буркитбаев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.Ж. Джусипбеков**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.И. Итжанова**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.З. Мулдахметов**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Д. Рахимов**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Л.Т. Ташимов**; доктор хим. наук, проф. **З.А. Мансуров**; доктор техн. наук, проф. **М.К. Наурызбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Республики Беларусь **В.Е. Агабеков** (Беларусь); академик НАН Украины **С.В. Волков** (Украина); академик НАН Кыргызской Республики **Ш.Ж. Жоробекова** (Кыргызстан); академик НАН Республики Армения **А.А. Манташян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **К. Туртэ** (Молдова); академик НАН Азербайджанской Республики **В. Фарзалиев** (Азербайджан); академик НАН Республики Таджикистан **Д.Х. Халиков** (Таджикистан); доктор хим. наук, проф. **В.Н. Нараев** (Россия); доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания); доктор хим. наук, профессор **Марек Сикорски** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия химии и технологии». ISSN 2224-5286

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10893-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142,
Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского,
каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

M. Zh. Zhurinov,
academician of NAS RK

Editorial board:

S.M. Adekenov, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Ye.Ye. Yergozhin**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK (deputy editor); **K.D. Praliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **A.B. Bayeshov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.M. Burkhitbayev**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.Zh. Zhusipbekov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Kh.I. Itzhanova**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Z. Muldakhmetov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **K.D. Rakhimov**, dr. med. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **L.T. Tashimov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.A. Mansurov**, dr. chem. sc., prof.; **M.K. Nauryzbayev**, dr. eng. sc., prof.

Editorial staff:

V.Ye. Agabekov, NAS Belarus academician (Belarus); **S.V. Volkov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **Sh.Zh. Zhorobekov**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **A.A. Mantashyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **K. Turte**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Farzaliyev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **D.Kh. Khalikov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **V.N. Narayev**, dr. chem. sc., prof. (Russia); **Pauline Prokopovich**, dr. phylos., prof. (UK); **Marek Sikorski**, dr. chem. sc., prof. (Poland)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.
ISSN 2224-5286

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 10893-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Editorial address: Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry named after D. V. Sokolsky
142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22,
e-mail: orgcat@nursat.kz

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 1, Number 415 (2016), 38 – 43

**HYDRAULIC RESISTANCE AND HEAT-EXCHANGE
WHEN MOVING COOLANT
IN TUBE BUNDLE OF REGULAR STRUCTURE**

O. S. Balabekov, D. Sarsenbekuly, A. A. Volnenko, D. K. Zhumadullayev

South-Kazakhstan State University named after Mukhtar Auezov, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: nii_mm@mail.ru

Keywords: tube bundle, coefficient of resistance, Nusselt number, Reynolds number, estimated dependencies.

Abstract. The purpose of this paper is to investigate the hydrodynamics and heat-exchange when moving coolant in the tube bundle of regular structure of the heat-and-mass exchange apparatus and obtaining estimated dependencies of hydraulic resistance and Nusselt numbers. Standard methods for measuring the difference of pressures and temperature before and after the tube bundle have been used for the studies.

As the result of the research, the dependency diagrams of hydraulic resistance and Nusselt numbers on Reynolds numbers have been obtained. The increase of hydraulic resistance is due to energy flow input for overcoming local resistance and friction resistance. The increase of Nusselt numbers happening along with the increase of Reynolds numbers is due to the increase of flow turbulence intensity and their decrease when increasing temperature happens due to reducing the viscosity of the coolant and increase of its thermal conductivity. The findings of the studies provided the basis for equation to estimate hydraulic resistance and Nusselt numbers.

The processes of absorption, dust trapping and contact heat-exchange are the area for application of the results.

УДК 66.02.071.7

**ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
И ТЕПЛООБМЕН ПРИ ДВИЖЕНИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
В ТРУБНОМ ПУЧКЕ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ**

О. С. Балабеков, Д. Сарсенбекулы, А. А. Волненко, Д. К. Жумадуллаев

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Ключевые слова: трубный пучок, коэффициент сопротивления, гидравлическое сопротивление, числа Нуссельта, числа Рейнольдса, расчетные зависимости.

Аннотация. Целью работы является исследование гидродинамики и теплообмена при движении теплоносителя в насадочном трубном пучке регулярной структуры тепломассообменного аппарата и получение расчетных зависимостей гидравлического сопротивления и чисел Нуссельта. Для проведения исследований использованы стандартные методы измерения разности давлений и температуры до и после трубного пучка.

В результате исследований получены графики зависимостей гидравлического сопротивления и чисел Нуссельта от чисел Рейнольдса. Рост гидравлического сопротивления обусловлен затратами энергии потока на преодоление местных сопротивлений и сопротивлений на трение. Увеличение чисел Нуссельта с ростом чисел Рейнольдса происходит за счет роста интенсивности турбулентности потока, а их снижение с увеличением температуры происходит из-за снижения вязкости теплоносителя и роста его теплопроводности. Результаты проведенных исследований положены в основу уравнений для расчета гидравлического сопротивления и чисел Нуссельта.

Областью применения результатов являются процессы абсорбции, пылеулавливания и контактного теплообмена.

Аппараты с регулярной структурой насадочной зоны вследствие невысокой энергоемкости при высокой эффективности проводимых процессов находят широкое применение в процессах абсорбции, контактного теплообмена и пылеулавливания. Это достигается рациональным размещением контактных элементов вдоль и поперек движения сплошного и дисперсного потоков в зависимости от вида насадочных тел (шары, пластины, цилиндры и т.д.). Насадочные элементы под воздействием напора сплошного потока или импульсного воздействия дисперсной фазы (пленка, струя, капля жидкости) могут совершать различные движения: колебательные, пульсирующие, вращающиеся и вибрирующие. Нашло применение также жесткое крепление насадочных элементов при сохранении основного принципа – вихревого взаимодействия контактируемых потоков. Одной из разновидностей таких аппаратов является аппарат с трубным пучком, выполняющим в контактной зоне роль насадки [1].

Выполнение контактного устройства в виде пучка труб, расположенных поперек движению газожидкостного потока, дает дополнительные преимущества, так как в этом случае возможен подвод тепла непосредственно в зону контакта фаз или отвод из нее, что является обязательным условием эффективного проведения многих теплообменных процессов и хемосорбции.

Аппарат с регулярной трубчатой насадкой представлен на рисунке 1. Он включает корпус 1, штуцеры 2 и 3, соответственно для ввода и вывода газа, ороситель 4 для ввода свежей жидкости и патрубок 5 для слива отработанной жидкости. Трубная насадка состоит из труб 6, выходные концы которых снабжены коллекторами 7. Коллекторы 7 соединены послойно в шахматном порядке штуцерами 8. Для подачи теплоносителя в верхний слой трубного пучка служит патрубок 9, а для его слива патрубок 10.

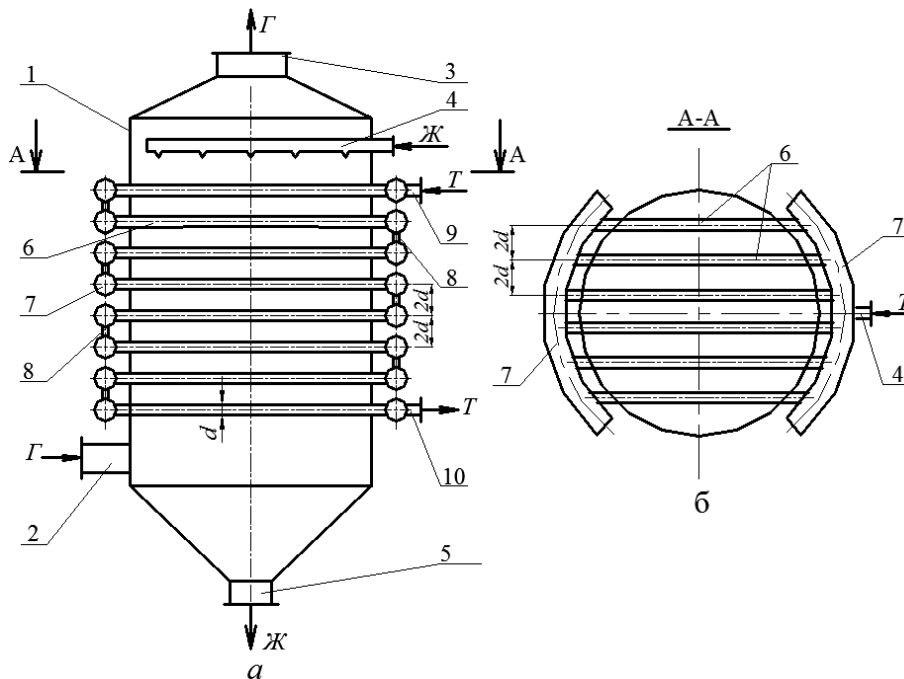


Рисунок 1 – Аппарат с трубной насадкой: 1 – корпус; 2 и 3 – штуцеры для ввода и вывода газа; 4 – ороситель; 5 – патрубок для слива отработанной жидкости; 6 – трубы; 7 – коллекторы; 8 – соединительные штуцеры; 9 – патрубок подачи теплоносителя; 10 – патрубок слива теплоносителя

При работе аппарата газовый поток, поступающий на очистку, подается через штуцер 2. Взаимодействие газа и жидкости, подаваемой через ороситель 4, происходит в противоточном режиме в объеме насадочной зоны, представляющей собой пучок труб 6, с шагами расположения в вертикальном и радиальном направлениях, равным 2 диаметрам трубы. Расположение труб с указанными шагами приводит к тому, что создается полупериодный режим одновременного вихреобразования (синфазный режим) взаимодействия вихрей, образующихся за трубами. Этот режим характеризуется совпадением времени образования вихрей за трубами и временем движения

образованных вихрей за цепочкой труб, расположенных по ходу движения газового потока. В момент подлета происходит взаимодействие подлетевших и завершивших цикл формирования вихрей за трубами. В результате такого взаимодействия суммарная мощность вихрей увеличивается, что позволяет совершить большую работу по дроблению орошающей жидкости и созданию высокоразвитой межфазной поверхности.

В трубном пучке движется теплоноситель, подача которого осуществляется по схеме патрубков 9 – коллектор 7 – трубы 6 – коллектор 7 – штуцер 8, далее нижерасположенные слои труб и вывод теплоносителя через патрубок 10.

Очищенный газовый поток выводится из аппарата через штуцер 3, а отработанная жидкость стекает через патрубок 5.

Для проведения исследований гидродинамики и параметров теплообмена был изготовлен трубный пучок, схема которого представлена на рисунке 2. На этом же рисунке обозначены места местных сопротивлений и сопротивления трения.

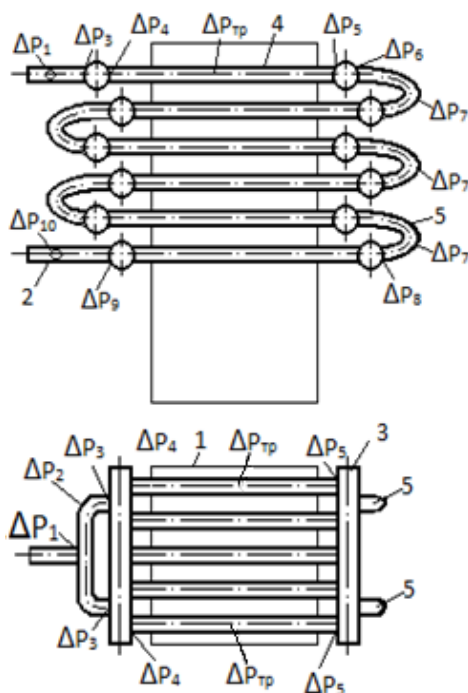


Рисунок 2 – К расчету гидравлического сопротивления трубного пучка:
1 – корпус; 2 – тройник; 3 – коллектор; 4 – трубы; 5 – отводы.

На рисунке 2: Δp_1 – потеря давления в тройнике, Па; Δp_2 – потеря давления в коленах, Па; Δp_3 – потеря давления при выходе разделенного потока в коллектор, Па; Δp_4 – потеря давления при выходе потока из коллектора в трубы пучка, Па; $\Delta p_{тр}$ – потеря давления на трение в трубах теплообменника, Па; Δp_5 – потери давления при входе потока из труб в коллектор, Па; Δp_6 – потери давления при выходе потока из коллектора в отводы, Па; Δp_7 – потери давления при движении жидкости по отводам, Па; Δp_8 – потери давления при входе потока из отводов в коллектор, Па; Δp_9 – потери давления при входе потока из коллектора в трубы тройника, Па; Δp_{10} – потери давления при входе потока из тройника в трубу, Па.

Результаты исследований гидравлического сопротивления трубного пучка ΔP от числа Рейнольдса $Re_{ж}$ представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка, движение жидкости в трубном пучке осуществляется в переходном режиме и режиме развитой турбулентности. Во всем диапазоне изменения чисел Рейнольдса наблюдается устойчивый рост гидравлического сопротивления. Это очевидно, так как с ростом скорости течения жидкости растут затраты энергии потока на преодоление местных сопротивлений и сопротивлений на трение.

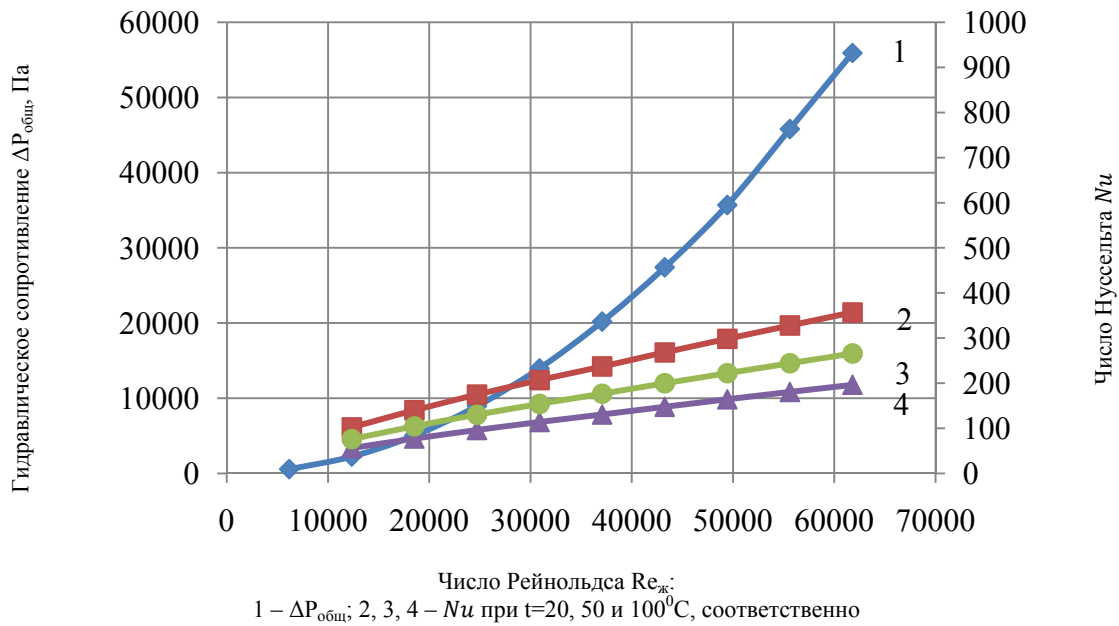


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления трубного пучка ΔP и чисел Нуссельта от числа Рейнольдса $Re_{ж}$

Для нашего случая движения теплоносителя (рисунок 2) гидравлическое сопротивление можно рассчитать по уравнению:

$$\Delta p = \Delta p_1 + (z - 2) \cdot \Delta p_2 + z \cdot (\Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_4 + \Delta p_{mp} + \Delta p_5) + (z - 1) \cdot (\Delta p_6 + \Delta p_7 + \Delta p_8 + \Delta p_9) + \Delta p_{10} \quad (1)$$

Здесь z – число ходов в трубчатом пучке.

Потери давления в местных сопротивлениях рассчитывают соответственно по формуле:

$$\Delta p_i = \zeta_i \left(\frac{\rho \cdot w_i^2}{2} \right) \quad (2)$$

где ζ_i – коэффициент местного сопротивления на рассматриваемом участке теплообменника; w_i – скорость жидкости в узком сечении рассматриваемого участка, м/с.

Потери давления на трение в трубах теплообменника:

$$\Delta p_{mp} = \lambda_{mp} \frac{l \rho w_{mp}}{d_g} \quad (3)$$

где λ_{mp} – коэффициент трения; l – длина трубы, м; d_g – внутренний диаметр трубы, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; w_{mp} – скорость жидкости в трубах, рассчитываемая по площади свободного сечения одного хода, м/с.

Коэффициент трения λ_{mp} зависит как от режима течения потока, так и от шероховатости стенок труб или каналов.

При ламинарном режиме течения ($Re < 2300$):

$$\lambda_{mp} = 64/Re \quad (4)$$

При турбулентном режиме течения, когда коэффициент трения существенно зависит от шероховатости труб, величину λ_{mp} можно рассчитать по формуле:

$$\lambda_{mp} = 0,11 \left(\frac{10}{Re} + 1,16 \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad (5)$$

Коэффициенты местного сопротивления на рассматриваемых участках движения теплоносителя в трубах определены экспериментально:

для тройника нами получено значение $\zeta_1=1,075$.

В работе [2] для расчета коэффициента сопротивления тройника предложено уравнение

$$\xi = 1 + k_1(W_B/W_C)^2, \quad (6)$$

где $k_1=0,3$ – для сварных тройников; W_C и W_B – скорости движения теплоносителей в подводящем и расходящихся патрубках. При изменении обтекания W_B/W_C от 0 до 1 коэффициент сопротивления изменяется в пределах от 1 до 1,3 ($F_C = F_B$).

для колена $\zeta_2=0,98$.

В работе [3] для расчета коэффициента сопротивления колена предложено уравнение

$$\xi = 0,916\sin^2 \beta/2 + 2,047\sin^4 \beta/2, \quad (7)$$

где β – угол изгиба колена.

для входа в коллектор $\zeta_3=0,64$, входа в трубы пучка $\zeta_4=0,15$, входа из труб пучка в коллектор $\zeta_5=0,15$, входа потока из коллектора в отводы $\zeta_6=0,3$, входа потока из отводов в коллектор $\zeta_8=0,36$, входа потока из коллектора в трубы тройника $\zeta_9=0,3$. Для указанных случаев в работах [2, 4] дано уравнение для чисел $Re > 10^4$

$$\xi = 0,5 \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right)^{3/4}, \quad (8)$$

где F_0 – площадь меньшего поперечного сечения, m^2 ; F_1 – площадь большего поперечного сечения, m^2 .
для отвода $\zeta_7=0,154$.

В работе [4] для расчета коэффициентов сопротивления отводов предложено уравнение

$$\xi = A \cdot B, \quad (9)$$

где значения A и B находятся из графиков, представленных в [3].

для выходного тройника $\zeta_{10}=0,6875$.

В работе [2] для расчета коэффициентов сопротивления выходного тройника предложено уравнение

$$\xi = A \left\{ 1 + \left(\frac{F_c}{F_{1B}}\right)^2 + 3 \left(\frac{F_c}{F_{1B}}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{Q_{1B}}{Q_c}\right)^2 - \left(\frac{Q_{1B}}{Q_c}\right) \right] \right\}. \quad (10)$$

Здесь значение коэффициента A зависит от площадей патрубков и расходов в них $A = f(F_c/F_{1B}; Q_{1B}/Q_c)$.

Механизм процесса теплоотдачи при течении жидкости в прямых гладких трубах является очень сложным. Интенсивность теплообмена может изменяться в широких пределах и в большей степени зависит от скорости движения потока. Изменение температуры жидкости происходит как по сечению, так и по длине трубы.

Характер движения жидкости в трубах может быть ламинарным, переходным и турбулентным. О режиме течения судят по величине числа Рейнольдса. При $Re = 2300$ – ламинарный режим; при $Re > 10^4$ – турбулентный режим; при $2300 < Re < 10^4$ переходный режим.

Как видно из рисунка 3 (кривые 2,3,4), значения чисел Нуссельта во всем диапазоне чисел Рейнольдса растут, тогда, как с увеличением температуры значения чисел Нуссельта снижаются. Это очевидно, так как с ростом скорости потока теплоносителя интенсивность турбулентности увеличивается и коэффициенты теплоотдачи также растут. С увеличением температуры происходит снижение вязкости теплоносителя и рост его теплопроводности, поэтому значения чисел Нуссельта снижаются.

В исследуемом нами диапазоне чисел Рейнольдса $Re > 10^4$ преимущественно наблюдается турбулентный режим [4,5], для которого получено уравнение:

$$Nu = 0,021 \cdot \varepsilon_l \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr/Pr_{cm})^{0,25} \quad (11)$$

В данном уравнении ε_l поправочный коэффициент, учитывающий влияние на коэффициент теплоотдачи отношение длины трубы к ее диаметру. Во многие критериальные уравнения конвективной теплоотдачи входит множитель $(Pr/Pr_{cm})^{0,25}$, учитывающий направление теплового потока и близкий к единице, когда температуры жидкости и стенки не сильно отличаются [5]. На рисунке 3 представлена расчетная кривая и точками обозначены результаты исследований.

Таким образом, для трубного пучка регулярной структуры, выполняющего роль насадки в тепломассообменном аппарате проведены исследования коэффициентов гидравлического сопротивления и коэффициентов теплоотдачи, на основе которых предложены уравнения для расчета гидравлического сопротивления и чисел Нуссельта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Расчет и конструирование тепломассообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой /Балабеков О.С., Волненко А.А. – Шымкент, 2015. – 184с.
- [2] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям /Под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
- [3] Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики.-М.: 1961. - с.
- [4] Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии // Под ред. П.Г.Романкова. – Л.: Химия, 1981. – 560с.
- [5] Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи /И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ.ред. В.Н.Соколова – Л.: Машиностроение, 1982. – 384с.

REFERENCES

- [1] Designing and construction of heat-mass-exchange and dust trapping apparatus with mobile and regular nozzle /Balabekov O.S., Volnenko A.A. – Shymkent, 2015. – p. 184
- [2] Idelchik I.Ye. Manual on hydraulic resistances /Edited by Shteinberg M.O. – Moscow: Mechanical engineering, 1992. – p. 672
- [3] Yablonskiy V.S. Brief course of hydraulics - Moscow: 1961. – p.
- [4] Pavlov K.F., Romankov P.G., Noskov A.A. Exercises and tasks of chemical technology processes and apparatus course // Edited by Romankov P.G. – Leningrad: Chemistry, 1981. – p. 560
- [5] Machinery and apparatus of chemical industries: Exercises and tasks /Domanskiy I.V., Isakov V.P., Ostrovskiy G.M. and others; under the general editorship of Sokolov V.N. – Leningrad: Engineering industry, 1982. – p. 384

ЖҮЙЕЛІ ҚҰРЫЛЫМДЫ ҚҰБЫРЛЫ ШОҒЫРДА ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАҒЫШТЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ КЕЗІНДЕГІ ЖЫЛУАЛМАСУ МЕН ГИДРАВЛИКАЛЫҚ КЕДЕРГІ

О. С. Балабеков, Д. Сарсенбекұлы, А. А. Волненко, Д. К. Жумадуллаев

М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан

Тірек сөздер: құбырлы шоғыр, кедергі коэффициенті, гидравликалық кедергі, Нуссельт саны, Рейнольдс саны, есептік тәуелділіктер.

Аннотация. Жұмыстың мақсаты жылу масса алмасу аппаратында жүйелі құрылымды жылу тасымалдағыштың құбырлы шоғыр саптамасындағы қозғалысы кезінде жылуалмасу мен гидродинамиканы зерттеу мен Нуссельт саны мен гидравликалық кедергінің есептік тәуелділіктерін алу болып табылады. Зерттеулерді жүргізу үшін құбырлы шоғырға дейінгі және кейінгі температура мен қысымның әр түрлілігін өлшеуден тұратын стандартты әдістер қолданылды.

Зерттеу нәтижесінде Рейнольдс санынан Нуссельт саны мен гидравликалық кедергінің тәуелділік графиктері алынды. Гидравликалық кедергінің өсуі жергілікті кедергілер мен үйкеліс кедергілерден өтуіне жұмсалатын энергия ағындарымен түсіндіріледі. Рейнольдс санының өсуімен Нуссельт санының өсу ағынның турбуленттілігінің қарқындылығы өсуі есебінен болады, ал олардың температураның жоғарлауы есебінен төмендеуі жылу тасымалдағыштың тұтқырлығының төмендеуі мен оның жылуөткізгіштігінің өсуімен болады. Жүргізілген зерттеулер нәтижелері Нуссельт саны мен гидравликалық кедергілерді есептеу үшін теңдеулердің негізіне алынды.

Нәтижелерді қолдану аясы абсорбции, шаңұстау және түйісуші жылуалмасу процесстері болып табылады.

Поступила 03.12.2015г.

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.chemistry-technology.kz/index.php/ru/>

Редакторы: *М. С. Ахметова, Т. А. Апендиев*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 02.02.2016.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
6,75 п.л. Тираж 300. Заказ 1.