

Оспанова Д.А., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Танашева Н.К., Рахыман кызы А.

**ГАЗДУУ СУЮК АГЫМДЫН ӨЗГӨРҮЛМӨ КЕСИЛИШИ МЕНЕН ТҮТҮКТҮН
УЗУНДУГУ БОЮНЧА ЖЫЛУУЛУК БЕРҮҮ КОЭФФИЦИЕНТИНИН САНДЫК
ЭСЕБИ**

Оспанова Д.А., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Танашева Н.К., Рахыман кызы А.

**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ГАЗОЖИДКОСТНОГО
ПОТОКА ПО ДЛИНЕ ТРУБЫ С ПЕРЕМЕННЫМ СЕЧЕНИЕМ**

D.A. Ospanova, B.R. Nusupbekov, S.E. Sakipova, N.K. Tanasheva, A. Rahman kyzy

**NUMERAL CALCULATION OF COEFFICIENT OF HEAT EMISSION OF GAS-LIQUID
STREAM ON LENGTH OF PIPE WITH VARIABLE SECTION**

УДК: 536.24; 532.5; 681.7.0693

Бул иште далилдердин топтук эсептөө ыкмасынын негизинде эксперименталдык маалыматка талдоо жүргүзүлү, өзгөрүлмө кесилиштин каналы боюнча жылуулук өткөрүүнүн гетерогендик агымына газ камтылган деңгээлдин таасиринин закон ченемдүүлүгү белгиленди.

Негизги сөздөр: газдуу суюк агым, жылуулук берүү коэффициенти, конфузур, диффузор, далилдерди топтук эсептөө ыкмасы, регрессиялык талдоо, полином.

В работе на основе метода группового учета аргументов проведен анализ экспериментальных данных, установлены закономерности влияния степени газосодержания на теплоотдачу гетерогенного потока при течении по каналам переменного сечения.

Ключевые слова: газожидкостный поток, коэффициент теплоотдачи, конфузур, диффузор, метод группового учета аргументов, МГУА, регрессионный анализ, полином.

In-process on the basis of method of group account arguments the analysis of experimental data is conducted, conformities to law of influence of degree of gas content are set on heat emission of heterogeneous stream at a flow on the channels of variable section.

Key words: gas-liquid stream, coefficient of heat emission, confuser, diffuser, Group Method of Data Handling (GMDH), regressive analysis, polynomial.

Введение. Большое количество экспериментальных и теоретических работ, проведенных в последние годы посвящено вопросам гидродинамики и теплообмену газожидкостных систем. Это связано с актуальными задачами, которые стоят перед современной энергетикой, нефтегазодобывающей, химической промышленностью. Совместное течение газа и жидкости широко используется как эффективное средство интенсификации процессов теплообмена в различных трубопроводах в виде диффузоров и конфузоров, предназначенных для транспортировки. Восходящее движение газожидкостного потока в трубах характерно для диффузорах в которых зависит не только от скорости потока, но и от условий теплообмена, определяемых гидродинамическим состоянием системы [1].

Дискретность структуры газожидкостного потока, его турбулентный характер, многообразие режимов течения являются основным препятствием аналитического изучения процессов переноса при

двухфазном течении и построения универсальных методов расчета его характеристик. Поэтому значительная часть исследований в этой области носит до настоящего времени экспериментальный характер.

В случае пузырькового режима течения при обобщении опытных данных возникают дополнительные трудности, связанные с необходимостью учета влияния на процессы переноса поперечной неравномерности объемного газосодержания, его зависимостью не только от расходных параметров двухфазного потока, но и от конкретных условий течения - способа ввода газа в поток жидкости, размеров газовых пузырей, уровня начальной турбулентности и т.д.

Актуальностью работы является проведение комплексных, по возможности, одновременных измерений наиболее важных величин, куда относятся локальные значения газосодержания, скоростей фаз, коэффициента теплоотдачи, касательного напряжения на стенке, а также пульсационные характеристики течения. Такие измерения позволяют установить взаимосвязи между различными параметрами, что дает в свою очередь возможность понять механизмы переноса.

Исследование теплообмена газожидкостного потока в переходных устройствах, различного рода местных сопротивлениях осложнено с появлением процессов дробления и слияния пузырей газа и зонами обратной циркуляции, что сильно влияет на теплообмен газожидкостных потоков.

Однако, число работ такого рода существенно ограничено, а результаты измерений часто противоречивы. Последнее можно объяснить тем, что вследствие дискретности газожидкостного потока задача определения его основных локальных характеристик диктует необходимость разработки обоснованных методов исследования и предъявляет новые требования к обработке и анализу сигналов измерительных устройств.

Поэтому исследование закономерностей тепло-массообмена двухфазных потоков в каналах переменного сечения имеет актуальное значение [1].

Целью работы является моделирование коэффициента теплоотдачи с помощью МГУА при течении

газожидкостного потока по длине трубы с переменным сечением.

Метод группового учета аргументов (МГУА) является алгоритм порождения и выбора регрессионных моделей оптимальной сложности. Под сложностью модели в МГУА понимается число параметров. Для порождения используется базовая модель, подмножество элементов которой должно входить искомые параметры. Для выбора моделей используются: внешние критерии; специальные функциональные качества моделей, вычисленные на тестовой выборке.

Методика исследования. В работе рассматривается режим течения при относительно малых объемных газосодержаниях потока – пузырьковый, при этом движется в виде отдельных пузырьков, диаметры которых малы по сравнению с внутренним размером трубы.

В работе используются фотографии и экспериментальные данные, полученные в лаборатории гидродинамики КазНУ им. аль-Фараби профессором К.Кусаиыновым [2].

Эксперименты показали, что процесс теплообмена переходных устройств с потоком играет не столь важную роль, так как переходные устройства во многих случаях имеют малую протяженность, и в силу этого на их долю приходится очень малый участок теплообмена с текущей средой. Местные входные сопротивления усложняя гидродинамику течения в трубах до значительных расстояний, сильно влияют на теплообменные процессы на всем протяжении трубы.

Опыты проводились на трубах с заменой участка стабилизации входными диффузорами с углами расширения 10° , 30° , 60° и 180° (последний означает резкое расширение канала или истекание газожидкостного потока в бесконечно большой резервуар) [2].

На рисунке 1 показан вертикальный диффузор $\alpha=20^\circ$, восходящий поток $\beta=0,05$ при разных скоростях газожидкостного потока [2].

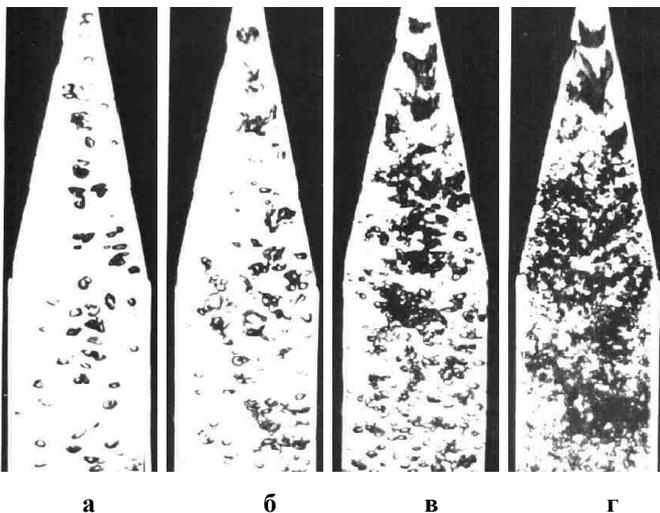


Рисунок 1. Вертикальный диффузор $\alpha = 20^\circ$, восходящий поток $\beta = 0,05$; u : а-0,8 м/с; б-1,4 м/с; в-1,8 м/с; г-2,9 м/с.

На рисунках 2 показан вертикальный конфузор, при наклоне угла $\alpha=20^\circ$ и при разных газосодержаниях [2].

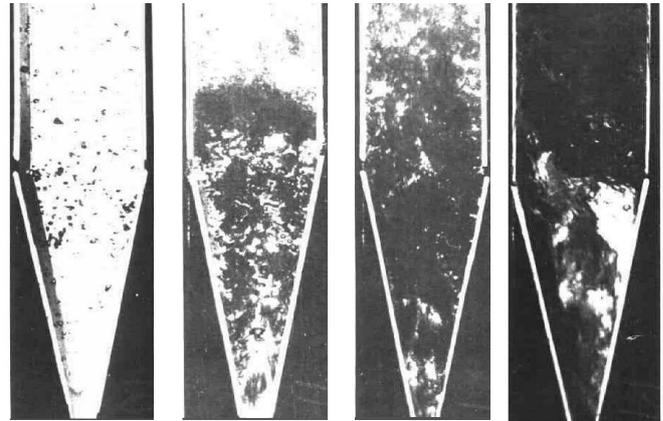


Рисунок 2. Вертикальный конфузор, $\alpha=20^\circ$, восходящий поток, $\beta=0,05$, u : а-0,8 м/с; б-1,4 м/с; в-1,8 м/с; г-2,9 м/с.

Из полученных результатов эксперимента (рисунки 1 и 2) можно сказать следующее: относительная скорость всплытия пузырьков приблизительно совпадает со скоростью всплытия пузырьков в покоящейся жидкости. Во всех режимах течения газожидкостной среды в горизонтальных, наклонных и вертикальных трубах является асимметрия распределения фаз, сопровождающаяся турбулизацией всего потока. Но даже в таком сильно хаотизированном, беспорядочном режиме можно обнаружить некоторые закономерности в виде различных динамических структур из 2-3-х, реже из 4-х пузырьков, которые видоизменяясь и разрушаясь, тем не менее достаточно долго сохраняются и повторяются вдоль по потоку.

Гораздо в меньшей степени изучены закономерности тепло-массообмена газожидкостного потока в диффузорах и конфузорах, т.е. учет одновременного влияния объемной степени газосодержания β и угла сужения или раскрытия канала – α .

Установлено, что при наличии резкого расширения в зоне циркуляционного течения степень газосодержания почти не влияет на интенсивность теплообмена, влияние газовой фазы начинает проявляться сильнее с удалением от зоны циркуляционного течения.

При относительно малых углах расширения диффузора, когда $\alpha = 20^\circ$, размеры отрывной зоны и уровень турбулентности потока в ней велики, и наличие газовых пузырей может привести, с одной стороны, к некоторому увеличению уровня турбулентности потока. С другой стороны, пузырьки газа, находясь в при стенном слое, способствуют увеличению напряжения трения на стенке трубы. При добавлении газовых пузырей отрывная зона вблизи выходных кромок конфузора при течении однородной жидкости смывается, в результате чего наступает тепловая стабилизация потока практически со входа в трубу. В целом увеличение газосодержания приводит к интенсификации теплообмена.

Анализ экспериментальных данных по теплообмену начального участка обогреваемых труб с входными диффузорами при течении газожидкостного потока сильно показал, что получить какие-либо полуэмпирические зависимости и расчетные формулы на основе обработки опытных данных практически невозможно вследствие влияния многих параметров.

Далее на основе экспериментальных результатов был выполнен регрессионный компьютерный анализ коэффициента теплоотдачи Nu от степени объемного газосодержания β для разных сечений трубопровода по методу группового учета аргументов (МГУА) [3].

Целью регрессионного анализа является оценка функциональной зависимости условного среднего значения результата (Y) от различных факторов (x_1, x_2, \dots, x_n). Основной предпосылкой регрессионного анализа является то, что только результативный признак (Y) подчиняется нормальному закону распределения, а факторные признак (x_1, x_2, \dots, x_n) могут иметь произвольный закон распределения. В анализе динамических рядов в качестве факторного признака выступает время t . При этом в регрессионном анализе заранее подразумевается наличие причинно-следственных связей между результативным (Y) и факторами (x_1, x_2, \dots, x_n) признаками [3].

В качестве потенциальных членов полинома (опорных функций), выбираются не только степени входных переменных, а также их парные и тройные произведения – ковариации. Алгоритм МГУА работает при отбора внутренней и внешней критерий.

Критерий отбора устанавливается в модуле проектирования, при определении аргументов или опорных функций, которые переходят в следующий слой. Это "объективная функция", которая определяет качество модели на любой стадии расчетов. В качестве критерия селекции использован критерий MDL – Minimal Description Length – Минимальная длина описания.

Значение критерия MDL определяется выражением:

$$MDL = \text{Норм.СКО} + KK * \text{var}(a) * k / N * m(N),$$

где \ln - натуральный логарифм, Норм. СКО – Нормированный средний квадрат ошибки, представляет собой средний квадрат ошибки модели на пробном наборе; KK - коэффициент критерий; $\text{var}(a)$ – дисперсия реальной выходной переменной; N – количество примеров в файле данных; k – количество коэффициентов в модели определяемых так, чтобы минимизировать Норм.СКО [4].

Согласно описанной методике в базу исходных данных были введены экспериментальные данные для вертикального диффузора с углом сужения $\alpha = 20^\circ$ при постоянной скорости потока, измеренные на разных расстояниях от среза сопла l/d . На первом этапе рассматривались вертикальные сопутствующие потоки, так как в горизонтальных и наклонных

трубах добавляется еще и асимметрия в распределении газовой фазы поперечном сечении [5].

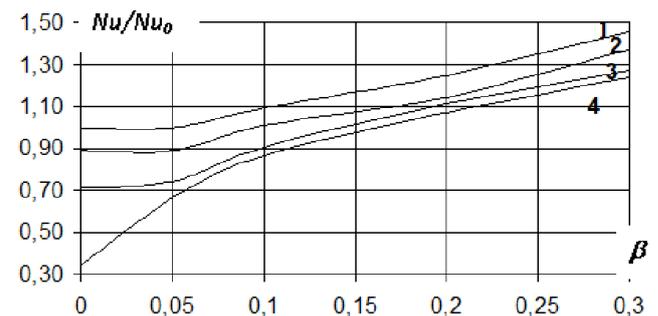
Результаты исследования. С помощью численного расчета получена эмпирическая формула определения коэффициента теплоотдачи газожидкостного потока по методу МГУА.

В результате применения критерия селекции MDL получены несколько полиномиальных формул, среди которых выбрана следующая:

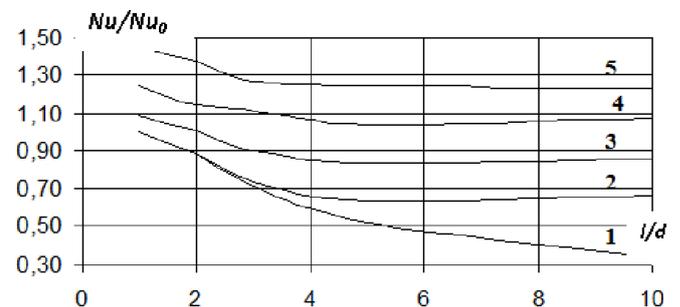
$$Nu = 101,5 - 14,5 \frac{l}{d} + 445\beta^2 + 0,75 \left(\frac{l}{d} \right)^2 + 39,5\beta \cdot \frac{l}{d} + 0,01\alpha^3 \cdot \beta \cdot \frac{l}{d} - 13\alpha \cdot \beta^2 \cdot \frac{l}{d}$$

Выбор данной формулы обоснован тем фактом, что в ней явно учтено раздельное влияние 3-х параметров и их ковариации, кроме того расчетные абсолютные значения коэффициента теплоотдачи в наибольшей точностью совпадают с эмпирическими [6].

Результаты проведенных расчетов приведены на рис.3, по оси ординат отложены значения относительного коэффициента теплоотдачи зависимости Nu/Nu_0 , где Nu_0 - коэффициента теплоотдачи в чистой воде, без содержания примесей.



а) отношение коэффициента теплоотдачи от газосодержания при различных сечениях: $l/d = 1-1\text{мм}; 2-2\text{мм}, 3-3\text{мм}, 4-5\text{мм}$.



б) отношение коэффициента теплоотдачи от сечения при различных газосодержаниях: $\beta = 1-0\%; 2-0,05\%, 3-0,1\%, 4-0,2\%, 5-0,3\%$.

Рисунок 3. Распределение коэффициента теплоотдачи по переменному сечению при постоянной скорости ($Re = 9930$) газожидкостного потока

Из графиков видно, что добавление газовой фазы ведет к росту коэффициента, соответствующего интенсификации процесса теплообмена

(рис.3а), поток «остывает» быстрее и уже на расстоянии 10 калибров его теплоотдача уменьшается почти в три раза, что хорошо наблюдается на рис.3б. Влияние газовой фазы при малых концентрациях в сечениях на разных расстояниях неравнозначное, но при $\beta \geq 0.1$ коэффициент теплоотдачи почти линейно возрастает с увеличением концентрации на всем протяжении трубы [7-8].

Заключение. На основе теоретических результатов были установлены следующие выводы:

- при заданной скорости, т.е. при фиксированном числе Рейнольдса существенное влияние газовой на теплообмен наблюдается непосредственно на начальном участке, где теплоотдача возрастает почти в полтора раза, а затем снижается, и после 4 калибров (l/d) практически не изменяется.

- участок стабилизации протягивается до нескольких калибров, в то время как для потока без добавления газовой теплоотдача уменьшается равномерно по потоку.

- регрессионный анализ позволил обнаружить новые аспекты влияния газовой фазы на теплообмен потока гетерогенной среды при движении в диффузорах и разработать способы их усиления или устранения.

- получена эмпирическая формула определения коэффициента теплоотдачи газожидкостного потока, где учтено раздельное влияние 3-х параметров и их ковариации, кроме того расчетные абсолютные значения коэффициента теплоотдачи в наибольшей точностью совпадают с эмпирическими.

Литература:

1. Кутателадзе С.С., Накоряков В.Е. Теплообмен и волны в газожидкостных системах.-Новосибирск: Наука.-1984.-302с.
2. Кусаиынов К. Диссертация на соиск. «Исследование гидродинамики и теплообмена газожидкостных потоков при течении по каналам переменного сечения», Алма-Ата, 1978г.
3. Ивахненко А.Г. Долгосрочное управление и прогнозирование сложными системами. - Киев.:Техника, 1975.- 312с.
4. Сакипова С.Е., Шаймерденова Г.М., Мустафина Г.М., Оспанова Д.А. Оптимизация полиномиальных моделей расчета нелинейных импульсных процессов. Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: Материалы международной конференции / КарГУ. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2004. –С.247-249.
5. Оспанова Д.А. Особенности теплоотдачи газожидкостного потока в каналах переменного сечения Материалы XXVIII-ой научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, магистрантов и студентов Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова (17 май 2005 г.) / КарГУ. –Караганда: Изд-во КарГУ, 2005. – С.64-67.
6. Кусаиынов К.К., Сакипова С.Е., Шаймерденова Г.М., Оспанова Д.А., Абилкасимов Б.Б. Влияние степени газосодержания на теплоотдачу гетерогенного потока в каналах переменного сечения. Вестник Карагандинского университета. -Серия Физика. 2005, -№3 (23). – С.25.
7. Шаймерденова Г.М., Оспанова Д.А. Численное моделирование коэффициента теплоотдачи газожидкостного потока. Физика и химия наноматериалов: Сборник материалов международной школы-конференции молодых ученых (13-16 декабря 2005 г.) / Томский Государственный университет. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005.–С.487-491.
8. Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Шаймерденова Г.М., Оспанова Д.А. Исследование закономерностей теплоотдачи гетерогенного потока в трубах. Проблемы промышленной теплотехники Тезисы IV-ой международной конференции (26-30 сентября 2005г.) – Киев, 2005. – С. 133.

Рецензент: Кожшов Т.Т.