

УДК 536.24

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛО- МАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ КОЖУХОТРУБНОГО
ТЕПЛООБМЕННИКА С КОМПАКТНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ ПУЧКОВ ТРУБ**

Троханяк Виктор Иванович

ассистент

Национальный университет биоресурсов и природоиспользования
Украины, Киев (Украина)

Богдан Юрий Александрович

старший преподаватель

Киевская государственная академия водного транспорта
им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Киев (Украина)

author@apriori-journal.ru

Аннотация. Проведено численное моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах кожухотрубного теплообменника с компактным размещением пучков труб используя программный пакет ANSYS Fluent. Получены поля скоростей, температур и давлений в исследуемых пучках труб. Проанализировано влияние геометрии на условия теплообмена и гидравлические потери в компактных поперечно обтекаемых пучках труб. Разработано новую конструкцию кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным расположением труб в трубных пучках.

Ключевые слова: теплообменник; пучок труб; математическое моделирование; скорость потока; гидравлические потери; температурные поля.

NUMERICAL SIMULATION OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH THE COMPACT ARRANGEMENT OF THE TUBE BUNDLE

Trohanyak Viktor Ivanovich

assistant

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv (Ukraine)

Bohdan Yurii Aleksandrovych

senior lecturer

Kyiv State Maritime Academy
named after Hetman Petro Konashevych-Sagaydachnii, Kyiv (Ukraine)

Abstract. Numerical modeling of heat and mass transfer process in the channels of shell-and-tube heat exchanger with a compact tube bundles arrangement using of the special software are made. Velocity, temperature and pressure fields in the investigated channel of the bundles of tube are found. Influence of geometry on a heat transfer and hydrodynamic losses in the compact of cross flowed tube bundles are analyzed. A new design of shell-and-tube heat exchanger with a compact arrangement of tubes in the tube bundles is developed.

Key words: heat exchanger; tube bundle; mathematical modeling; flow velocity; hydraulic losses; temperature fields.

Анализ последних исследований. Пучки гладких цилиндрических труб с шахматным и коридорным расположением широко используются в различных теплообменных аппаратах (ТА) и устройствах энергетических установок. Обзор литературных источников и результатов значительного количества экспериментальных исследований тепло- гидродинамических характеристик пучков гладких труб при поперечном обтека-

нии [1], в том числе исследований по теплоотдачи шахматных пучков при высоких числах Рейнольдса показывает, что такие пучки имеют высокую теплоотдачу по сравнению с коридорными пучками. Однако при этом они имеют более высокое гидравлическое сопротивление по сравнению с коридорными пучками.

Следует отметить, что поверхности такого типа, которые используются в кожухотрубных теплообменниках, приводят к росту их массы и габаритов. Одним из путей улучшения этих характеристик является применение оребрения и интенсификаторов теплообмена на конвективных поверхностях. Вместе с тем, использование оребренных поверхностей и интенсификаторов существенно повышает гидравлическое сопротивление в трактах теплообменника и требует для прокачки теплоносителей использования насосов и вентиляторов большей мощности. Перспективным направлением снижения гидравлического сопротивления и интенсификации теплообмена на конвективных поверхностях теплообменников является применение гладких трубных пучков с компактной конфигурацией.

Поэтому разработка новых конструкций кожухотрубных теплообменников с компактными трубными пучками является актуальной и требует своего решения.

Цель исследований – разработка новых конструкций кожухотрубных теплообменников с компактным размещением пучков гладких труб при поперечном обтекании теплоносителем и численное моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах теплообменника.

Постановка задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить компьютерное моделирование процессов тепло- массопереноса в пучках труб различной геометрии.

Материалы исследований. Рассмотрим кожухотрубный теплообменник с кожухом прямоугольного сечения при поперечном обтекании пучков труб. Геометрия размещения труб с диаметром $d=10$ мм показана

на на рис. 1, что отличается от традиционных шахматных и коридорных пучков их компактным размещением. Соседние трубки в таких тесных пучках могут быть смещены одна относительно другой на некоторое расстояние, при этом рассмотрено пять типов конструкции пучка, со смещением труб в поперечном направлении от 1 до 5 мм. Три типа конструкции показано на рис. 1, которые соответственно имеют величину смещения труб на 1, 3 и 5 мм относительно оси продольного ряда без смещения.

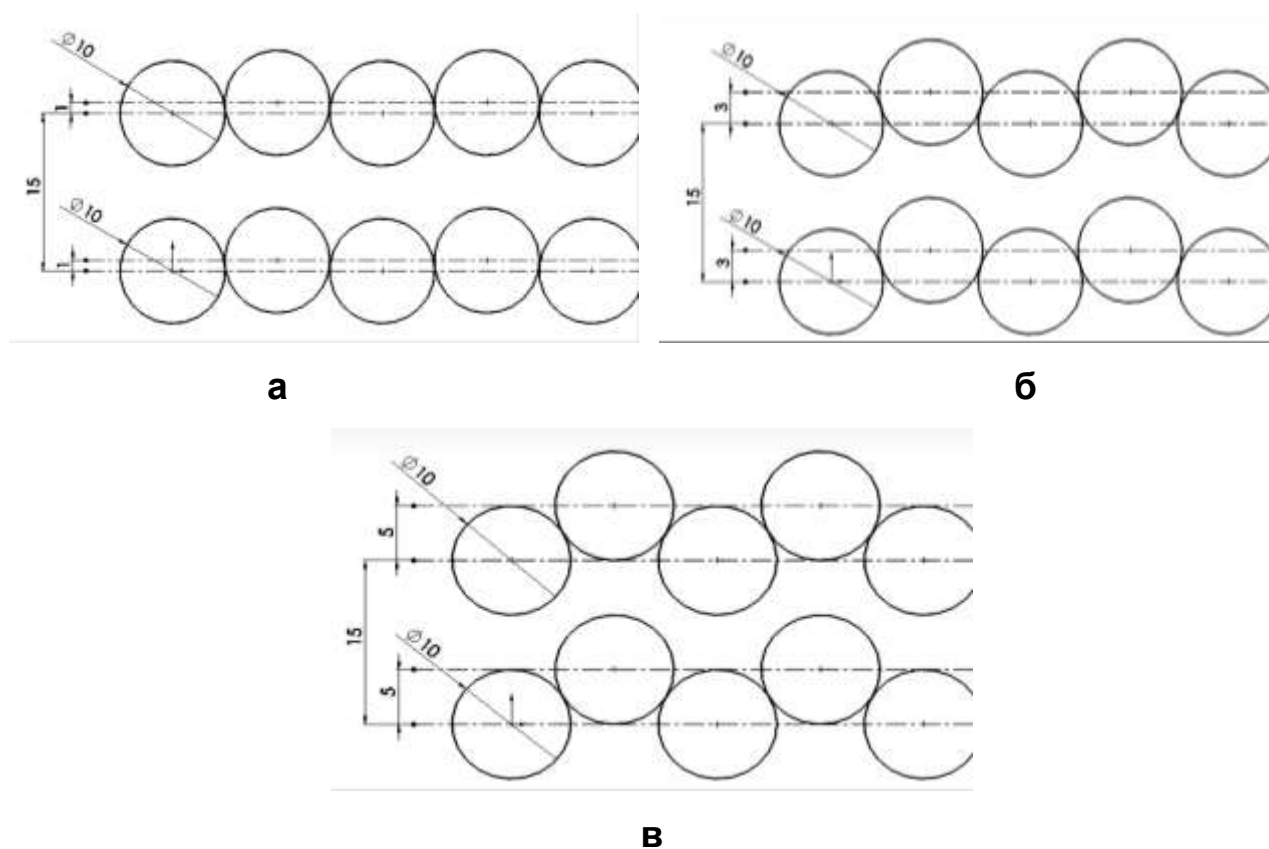


Рис. 1. Расположение компактного пучка труб (вид сверху):
а – смещение труб на 1 мм, б – смещение труб на 3 мм,
в – смещение труб на 5 мм

Проведено математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах, выполнена оценка теплогидравлической эффективности пучков труб различных конструкций, рассматриваемых в работе.

Все расчеты выполнены при значении числа Рейнольдса $18,6 \cdot 10^3$. В качестве теплоносителей выбраны отработанные газы (горячий теплоноситель) двигателя внутреннего сгорания с температурой $470 \text{ }^\circ\text{C}$ на входе в ТА, которые протекают в межтрубных каналах, и пресная вода (холодный теплоноситель), движущаяся внутри труб с температурой на входе в ТА равной $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Подобные условия имеют место, например, в многоходовых ТА – утилизаторах теплоты отработанных газов, когенерационных установок. Схема движения теплоносителей – перекрестный ток.

Результаты исследований. Проведено математическое моделирование гидродинамических процессов и процессов переноса теплоты в каналах с компактным размещением пучков труб, в которых содержится 40 труб в одном ряду диаметром 10 мм. Для этого использован метод компьютерного (CFD) моделирования с использованием программного комплекса ANSYS Fluent 14.0. В основе математической модели лежат уравнения Навье-Стокса [2] и уравнения переноса энергии для конвективных течений. В расчетах применено стандартную k-ε модель турбулентности [3–5]. Расчеты проведены для 5 конструкций со смещением соседних труб от $1 \div 5 \text{ мм}$ (см. рис. 1, а, б, в).

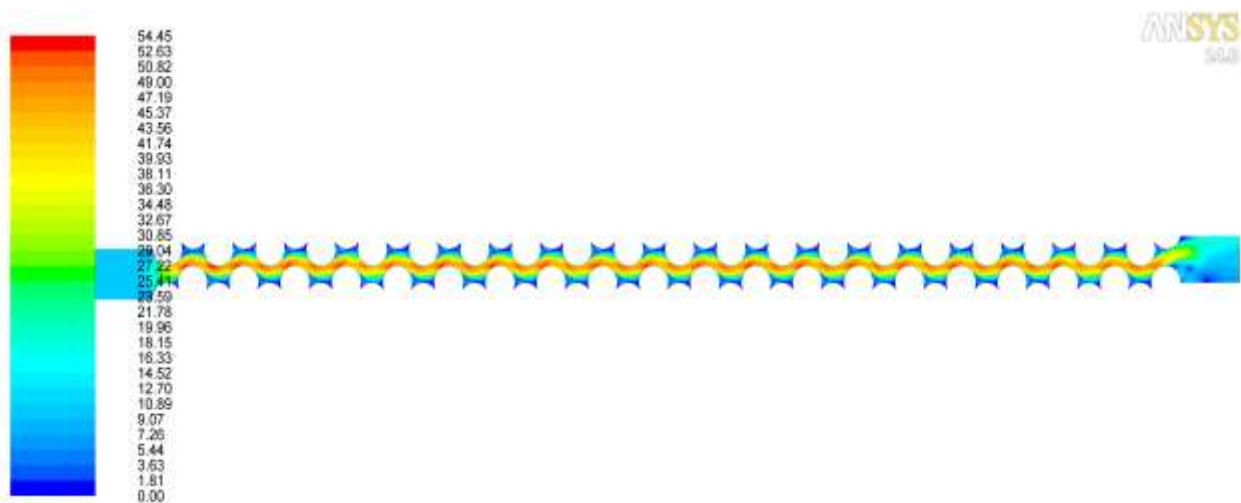


Рис. 2. Скорость отработанных газов в канале, м/с

Результаты расчетов для канала со смещением соседних труб 5 мм приведены на рисунках 2-6. Распределение векторов скорости в канале показано на рис. 2, а на рис. 3 – распределение векторов скорости в отдельном элементе пучка труб. Как видно из рис. 3, в верхней точке трубы происходит отрыв пограничного слоя, а на стыке соседних труб наблюдаются застойные зоны. В отдельных точках канала скорость отработанных газов достигает 55 м/с, а их средняя скорость в узком поперечном сечении канала составляет около 45 м/с (см. рис. 2). На рис. 4 приведены температурные распределения в межтрубном канале. Выходная температура охлажденного газа составляет 78 °С, что является самой низкой температурой среди выходных температур, которые достигаются в каналах других конструкций. На рис. 5 приведены изменение полей давления в канале исследуемой конструкции. Из полученных распределений давления следует, что общее падение давления составляет около 15700 Па. Кроме того, на рис. 6 показано линии тока скорости для выделенного участка канала.

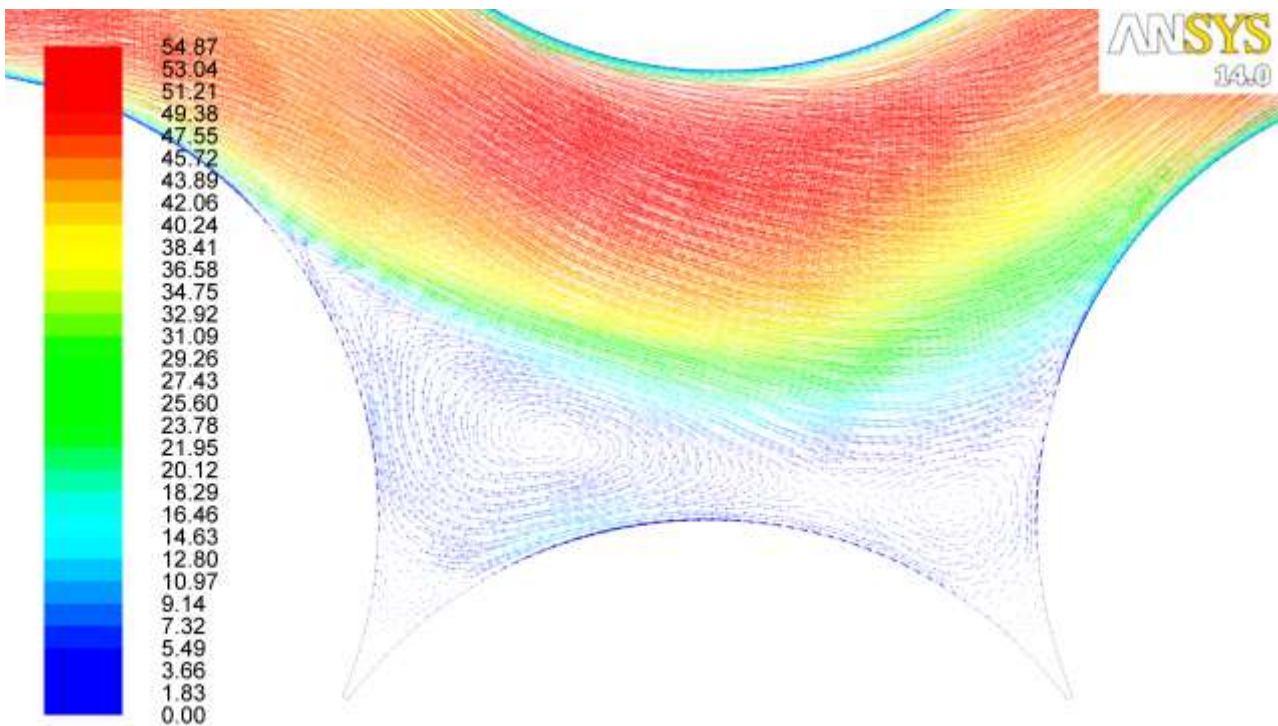


Рис. 3. Вектор скорости в канале, м/с

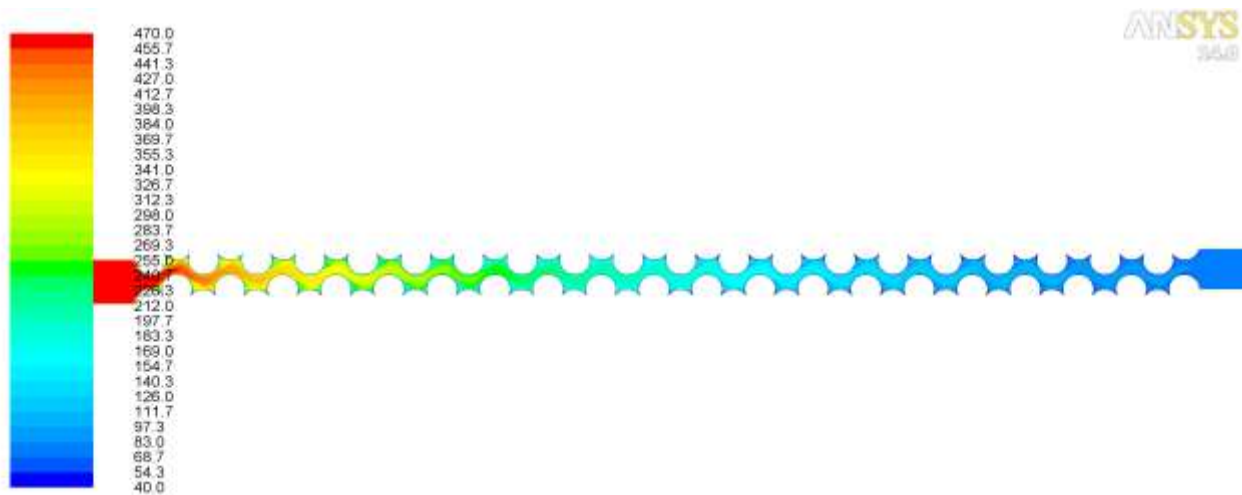


Рис. 4. Изменение температуры в канале, °C

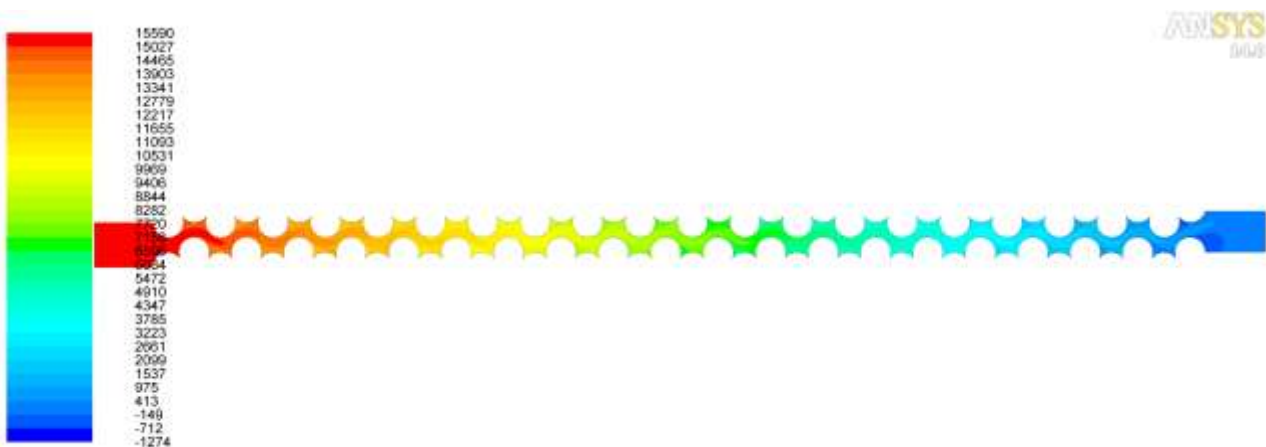


Рис. 5. Перепад давления в канале, Па

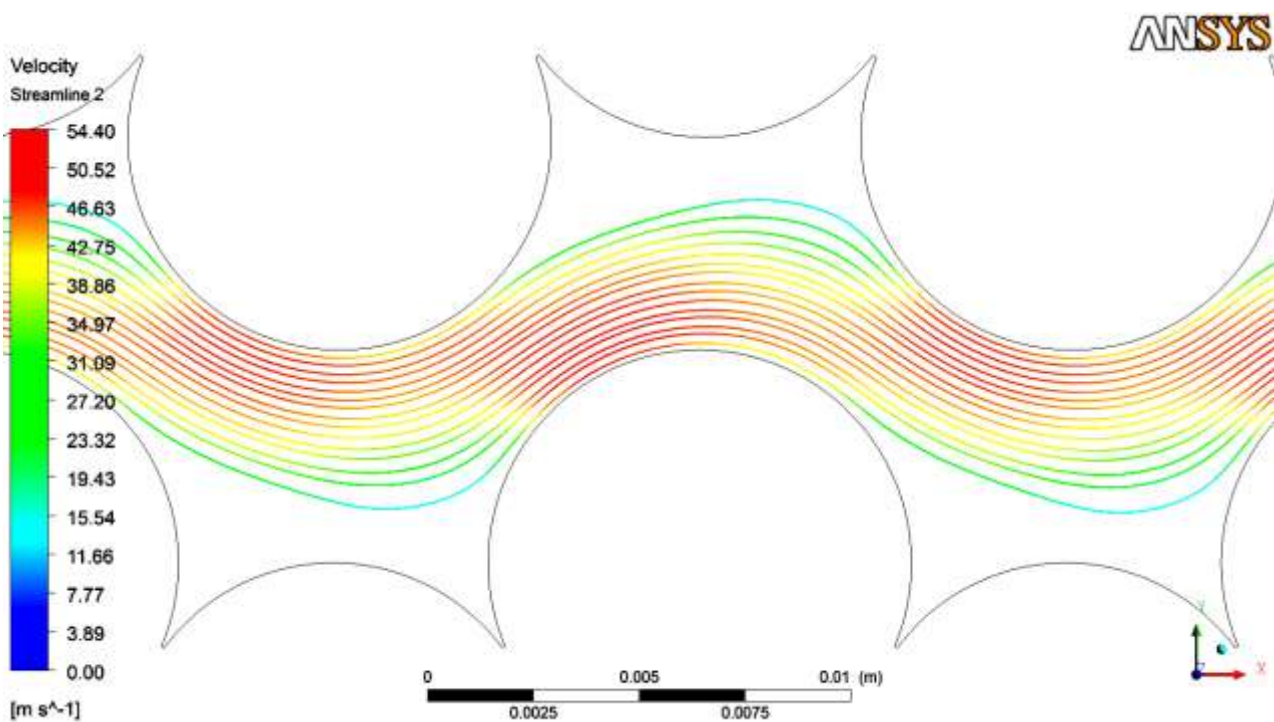


Рис. 6. Линии тока в канале, м/с

Компьютерное моделирование дает возможность проанализировать условия гидродинамического течения и теплопереноса в исследуемых каналах и определить их эффективность.

Выводы

Проведено компьютерное математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса в пучках труб различной геометрии при компактном размещении труб с использованием программного комплекса ANSYS Fluent 14.0. Получены поля скоростей, температур, давлений в исследуемых каналах. Проанализированы условия гидродинамического течения в каналах и проведено оценку интенсивности теплопереноса между горячим и холодным теплоносителем через стенку, которая их разделяет.

Разработана новая конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным расположением труб в трубных пучках. Определены эффективные поверхности теплообмена и показана перспективность применения предлагаемых конструкций пучков труб при конструировании теплообменников различного назначения.

Список использованных источников

1. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.
3. Bardina J.E. Turbulence Modeling Validation, Testing and Development / J.E. Bardina, P.G. Huang, T.J. Coakley // California, NASA reports. April. 1997. 88 p.
4. Speziale C.G. Modeling of Turbulent Transport Equations // Simulation and Modeling of Turbulent Flows / eds. T. Gatski, M. Hussaini, J. Lumley. Oxford University Press, 1996.