

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№10 2022

Направления:

**1.2.2. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**2.3.1. – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №10 2022г. – Казань:
ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 92 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvprt.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харламтди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2022 г.

1.2.2.

А.И. Хайбуллина, А.Р. ХайруллинКазанский государственный энергетический университет,
Казань, haybullina.87@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА
В ПУЧКЕ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LES МЕТОДА**

В данной работе методом LES исследуются теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании использовались LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM методы. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании LES WALE и LES WM методов.

Ключевые слова: пучок труб, LES, теплообмен, численное моделирование.

При моделировании течений в пучке труб применяются такие методы как прямое численное моделирование (DNS), моделирование крупных вихрей (LES) и решение усредненных уравнений Навье-Стокса (RANS) подходы. RANS модели позволяют существенно уменьшить требуемые вычислительные ресурсы, необходимые для проведения математического моделирования. Использование LES подходов позволяет получить более точные результаты по сравнению с RANS [1-4] моделями, при этом требуют меньших вычислительных ресурсов чем DNS. LES модели применяются с различными под сеточными моделями, а от выбора той или иной под сеточной модели зависит точность решения. В данной работе приведены результаты теплообмена десятирядного трубного пучка в поперечном потоке полученные с использованием LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM метода.

Расчетная область пучка труб, используемого в данной работе, показана на рисунке 1. Направление потока на входе совпадало с осью абсцисс x . Ось z параллельна трубкам пучка. Расчетная область имеет 10 цилиндров по направлению потока. Диаметр трубок 0,01 м. Отношение продольного (ось x) шага к диаметру трубного пучка составляет $S_1/D = 1,3$, поперечного (ось Y) $S_2/D = 2,6$. Длина пучка труб перед и после него составляла $5D$ и $12D$ соответственно. Длина в поперечном направлении (ось z) была $1D$. Количество элементов сетки между двумя цилиндрами в продольном направлении составляло 40. Количество элементов сетки по периферии цилиндров и по размаху составляло 160 и 8 соответственно. Коэффициент расширения в радиальном направлении составлял 1,22. Минимальный размер ячеек в пристеночной области был $8,1 \cdot 10^{-4}$, что аналогично работе [4]. На входе в расчетную область в качестве граничного условия задавалась постоянная скорость потока $u_x = 0,1543$ м/с. На стенки трубок в качестве граничного условия задавалась нулевая скорость. Температура набегающего потока составляла $18,5$ °С. На центральных цилиндрах задавалось граничное условие постоянной температуры $19,5$ °С. Расчеты производились с помощью Fluent. Для всех расчетов использовался алгоритм PISO. Центральная разностная схема использовалась для дискретизации уравнений импульса. Шаг по времени был 0.005 с.

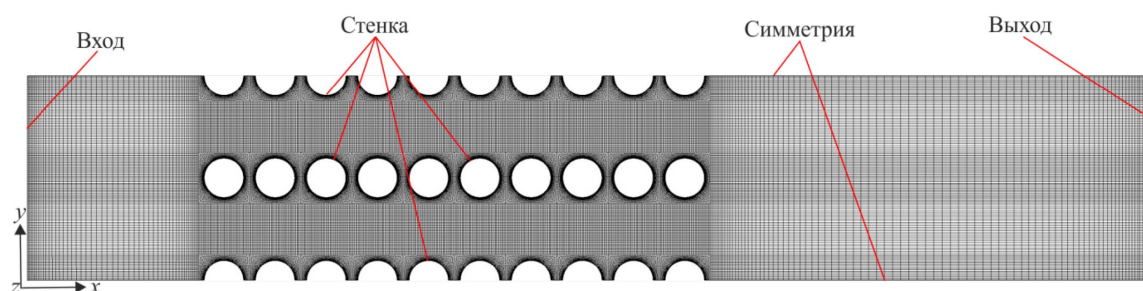


Рис. 1 – Расчетная область

Расчеты выполнены при числе Рейнольдса $Re = 2400$. В качестве рабочей жидкости использовалась вода. Теплофизические свойства воды были постоянны. Число Прандтля $Pr = 7.33$. Полное время расчета составляло 16 с. Теплоотдача для каждой трубки осреднялась по поверхности цилиндра и за период времени $t = [8;16]$ с. На рисунке 2 показаны мгновенные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности восьмого цилиндра в пучке для трех различных LES техник.

На рисунке 3 локальные значения числа Нуссельта восьмого цилиндра осредненные по пространству и времени для трех различных LES техник сравниваются с экспериментальными данными [5] при тех же условиях. LES WALE и LES WM дают лучшее совпадение с экспериментальными данными [5]. LES Smagorinsky лучше прогнозирует теплообмен в зоне вихреобразования при $\varphi > 100^\circ$, однако завышает теплоотдачу в лобовой части цилиндра. Максимальная теплоотдача для LES WALE и LES WM наблюдается при φ около 45° , что соответствует соударению потока жидкости в коридорном пучке. Максимальная теплоотдача для LES Smagorinsky наблюдается при φ около 25° и 70° , при этом в зоне φ около 45° происходит понижение теплоотдачи, что не отражает физику процесса.

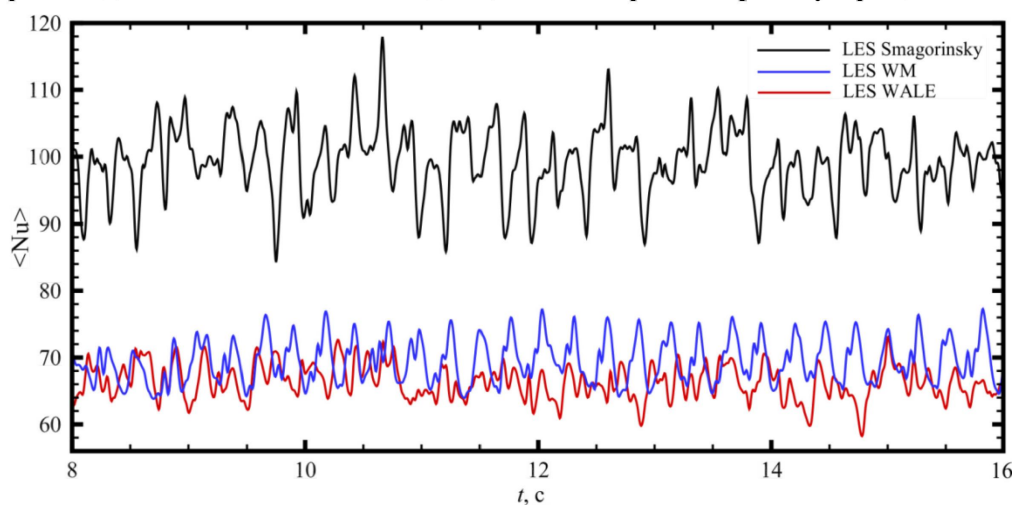


Рис. 2 – Мгновенные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности восьмого цилиндра

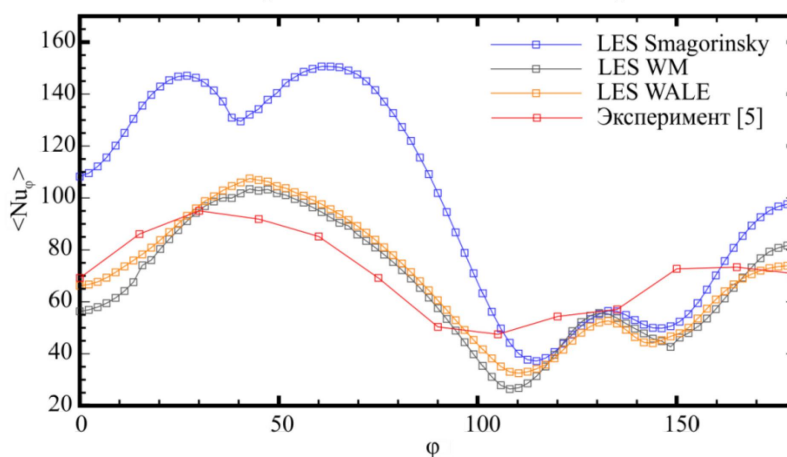


Рис. 3 – Локальные значения числа Нуссельта восьмого цилиндра осредненные по пространству и времени

На рисунке 4 показаны интегральные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности всего цилиндра в зависимости от ряда трубки в пучке. С увеличением числа рядов (со второго по девятый ряд) происходит рост теплоотдачи для всех LES техник. Увеличение теплоотдачи с увеличением числа рядов по потоку пучка также отмечается в работе [5]. Отклонения числа Нуссельта для восьмого цилиндра с экспериментальными данными составило 28.5 %, 7.1 %, 2.2 % для LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техники соответственно.

На рисунках 5,6 показаны линии тока и заливки скорости для разных моментов времени, по которым заметно нестационарное течение и вихреобразование позади цилиндров

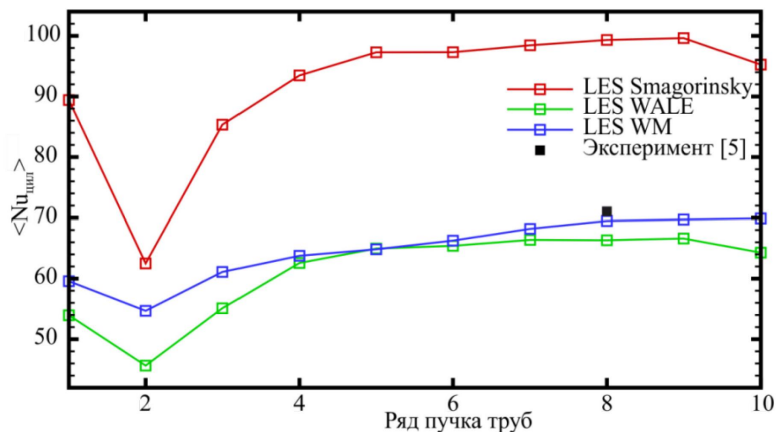


Рис. 4 – Распределение теплоотдачи цилиндров по глубине пучка

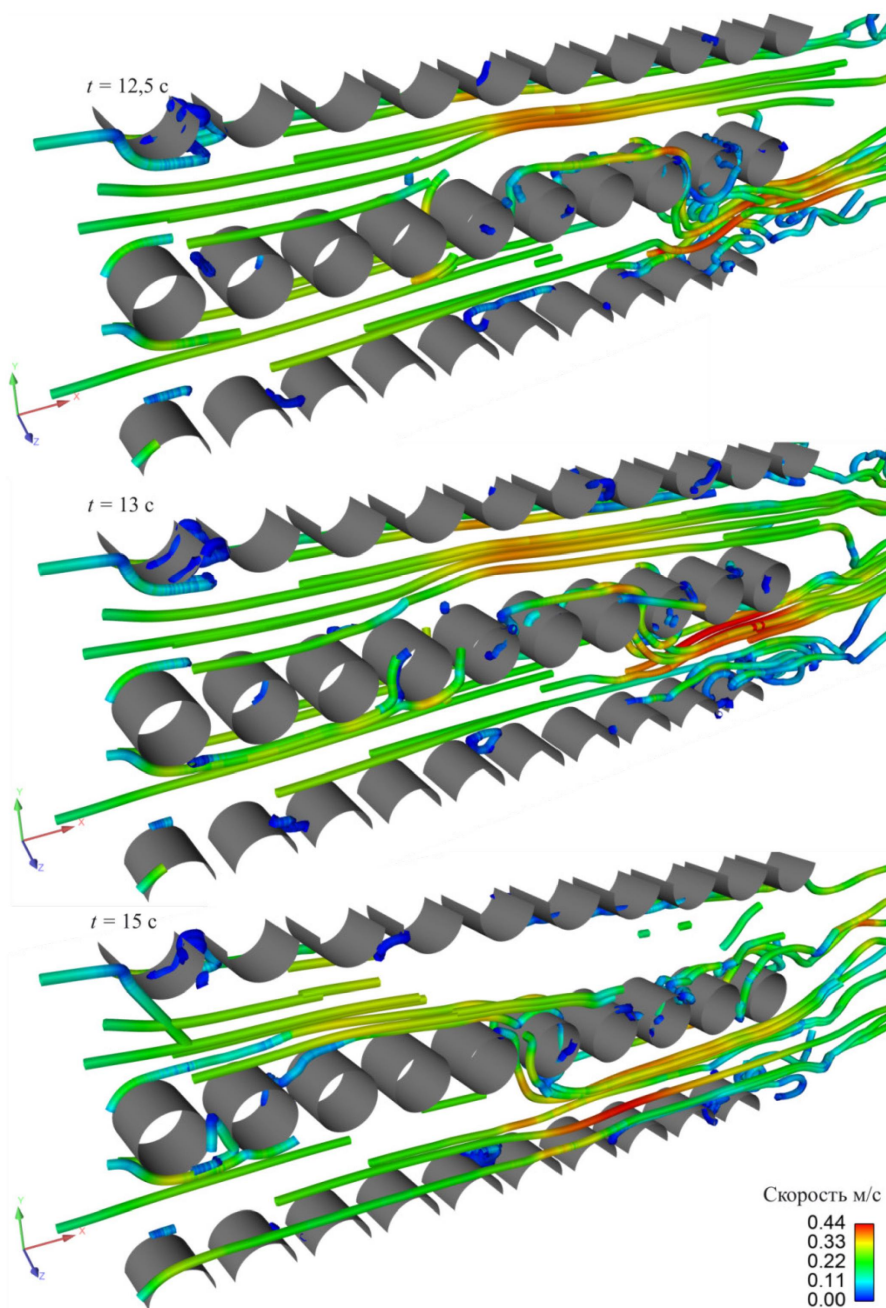


Рис. 5 – Линии тока в пучке труб для разных моментов времени полученные с использование LES WM

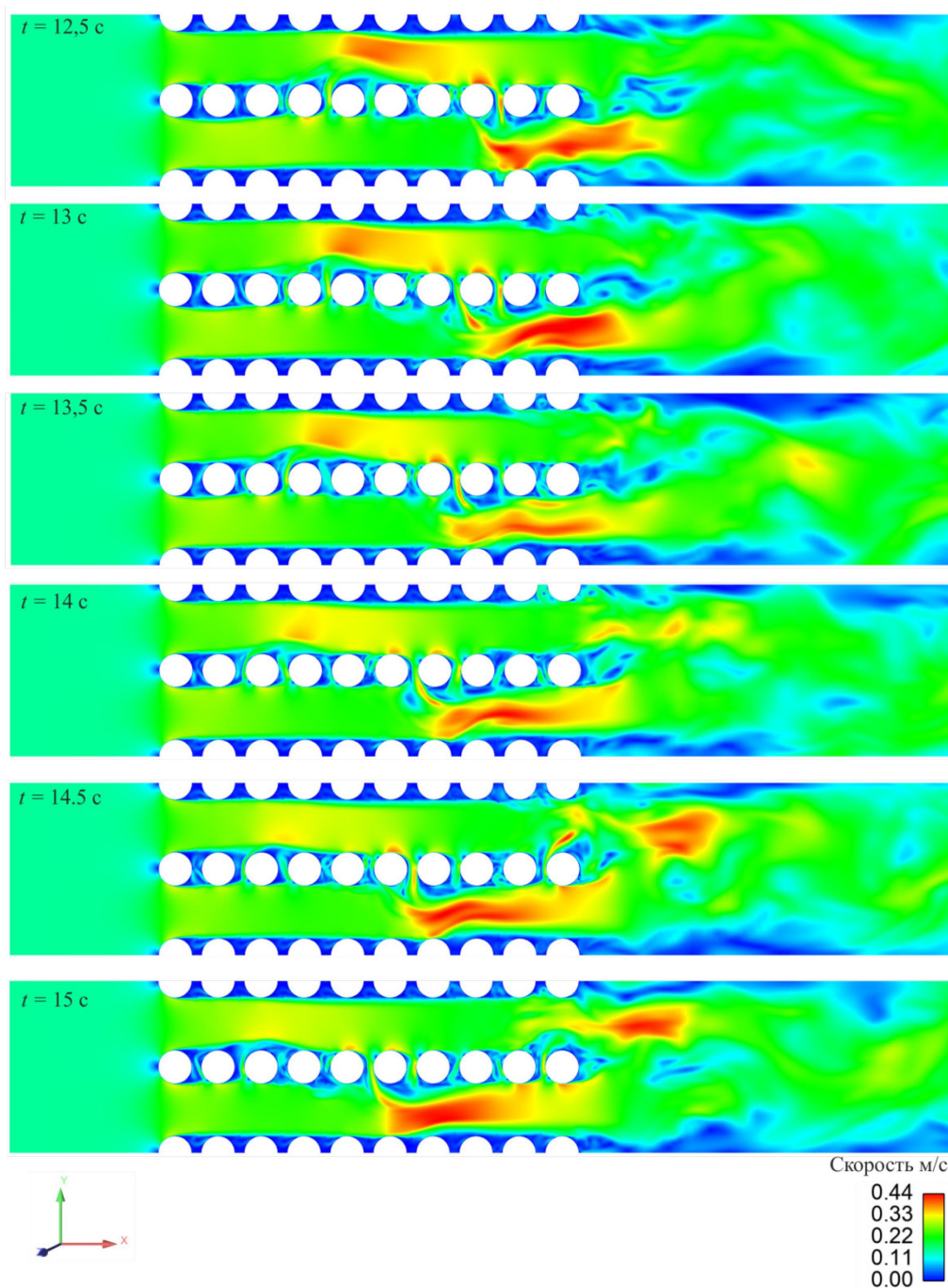


Рис. 6 – Заливка скорости в пучке труб для разных моментов времени полученные с использование LES WM

В данной работе получены результаты по теплообмену в десяти рядном коридорном пучке труб при использовании LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техник. Локальные характеристики теплообмена сравнены с экспериментальными данными. LES Smagorinsky лучше прогнозирует теплообмен в зоне вихреобразования при $\varphi > 100^\circ$, однако завышает теплоотдачу в лобовой части цилиндра. LES WALE и LES WM техники хорошо предсказывают теплообмена как в передней так задней части цилиндра. Отклонения числа Нуссельта осредненного по всей поверхности восьмого цилиндра и по времени с экспериментальными данными составило 28.5 %, 7.1 %, 2.2 % для LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техники соответственно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-79-10136, <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>.

Список литературы

1. *Kulasekharan N., Prasad B.V.* Performance of 2-D Turbulence RANS Models for Prediction of Flow Past a Staggered Tube Bank Array // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2009. no. 3. P. 386-407.
2. *Rollet-Miet P., Laurence D., Ferziger J.* LES and RANS of turbulent flow in tube bundles // *Int. J. of Heat and Fluid Flow*. 1999. Vol. 20. no. 3. P. 241-254.
3. *Wang Y.Q., Jackson P.L.* Turbulence Modeling Applied to Flow Through a Staggered Tube Bundle // *J. of Therm. and Heat Trans.* 2010. Vol. 24. № 3. P. 534-543.
4. *Li X., Wu X., He S.* Numerical investigation of the turbulent cross flow and heat transfer in a wall bounded tube bundle // *Int. J. of Thermal Sci.* 2014. Vol. 75. P. 127-139.
5. *Жукаускас А., Макаревич В. и Сланчаускас А.* Теплоотдача в пучках труб при поперечном обтекании жидкости. Минтис Вильнюс, 1968. С. 192.