

УДК 536.24

3D-модель кожухотрубного теплообменного аппарата с поверхностными интенсификаторами

Кулаков В.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Теплофизика»*

Научный руководитель: Каськов С.И., ст. преподаватель

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
kaskov@power.bmstu.ru*

В работе изложены результаты построения 3D-модели кожухотрубного теплообменного аппарата, содержащего интенсификаторы теплоотдачи в виде сферических выемок и выступов. В настоящее время одним из самых дорогих энергетических ресурсов является тепловая энергия. Ее высокая стоимость вызвана как проблемами ее производства (низкие КПД теплогенерирующих установок, рост цен на топливо, значительные издержки при производстве), так и проблемами ее эффективной передачи и использования. Тепловая энергия от момента производства до пользователя несколько раз проходит преобразование в различных теплообменных аппаратах (ТА) и теплообменных элементах, коэффициенты тепловой эффективности которых часто не превышают 40 – 70 %.

В энергетике и промышленности России в основном продолжают использоваться кожухотрубные ТА. При этом данные ТА – гладкотрубные, имеющие значительные габариты, высокую степень загрязняемости и малый срок службы трубного пучка. Кроме того, возрастающая мощность различного энергетического оборудования вызывает значительные термические и динамические нагрузки.

Проблемы снижения массогабаритных характеристик теплообменного оборудования и увеличения теплогидравлической эффективности могут успешно решаться при помощи использования в теплообменных аппаратах интенсификаторов теплоотдачи [1]. Наибольший интерес представляют интенсификаторы теплообмена, которые позволяют значительно увеличить теплосъем при умеренном или сопоставимом росте гидравлического сопротивления. К таким интенсификаторам относятся поверхностные интенсификаторы теплоотдачи. Они составляют значительный класс, и к ним относят

спиральные и поперечные проволочные вставки и накатки различной конфигурации, микроребра, сферические, цилиндрические, конусообразные и иные выступы и выемки, шевронные штампованные поверхности и т.д. Основная отличительная особенность данного вида интенсификаторов - воздействие на пограничный слой, вносящий наибольшее термическое сопротивление в теплоотдачу, и его разрушение с последующей турбулизацией потока в пристенном слое [2,3]. Воздействие только на пристенный слой не вызывает существенного роста гидросопротивления. Увеличение теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования при течении жидких и газообразных теплоносителей составляет до 2,5 раз при сопоставимом росте гидросопротивления. Отличительной особенностью поверхностных интенсификаторов является также то, что за счет повышенной турбулентности и вихреобразования в пристенной зоне уменьшается загрязнение поверхности. Этот факт увеличивает привлекательность данного вида интенсификаторов.

Одними из перспективных интенсификаторов теплоотдачи являются системы сферических выемок, нанесенные механическим способом (штамповка, фрезеровка) на теплообменную поверхность [4,5]. Сферические выемки вполне рационально использовать для интенсификации ламинарной теплоотдачи, выигрыш от уменьшения массы, габаритов и стоимости теплообменников очевиден. Для турбулентного режима течения в несжимаемых каналах лишь в очень узком интервале чисел Re качество мелких сферических выемок оказывается выше, чем у других интенсификаторов, и в особенности у поперечных выступов.

Очевидно, что глубокие сферические выемки позволяют получить в канале несколько более высокий уровень теплоотдачи, чем мелкие, однако сопротивление каналов с глубокими выемками велико, поэтому эффективность глубоких выемок ниже, чем у мелких. Крупные выемки заметно больше наращивают сопротивление канала по сравнению с теплоотдачей.

Накопленный опыт позволяет рассчитывать и проектировать теплообменные аппараты с оптимальными конфигурациями и размерами интенсификаторов в виде сферических выемок для различных режимных параметров. В связи с вышесказанным целью работы было исследование возможности создания 3D-модели высокоэффективного теплообменного аппарата с поверхностной интенсификацией теплообмена в виде различных систем сферических выемок.

Представленный прототип ТА представляет интерес как подогреватель воды горячего водоснабжения, водоподогреватель сетевой воды, котел утилизатор теплоты

уходящих дымовых газов, промышленный подогреватель рабочих газообразных и жидких теплоносителей, особенно загрязненных, элемент-подогреватель в гальванических ваннах и прочих технологических сосудах.

Для проверки полученных данных по интенсификации теплоотдачи с помощью сферических выемок и оценки возможности создания высокоэффективных теплообменных аппаратов была разработана 3D-модель ТА с данными интенсификаторами (рис. 1).

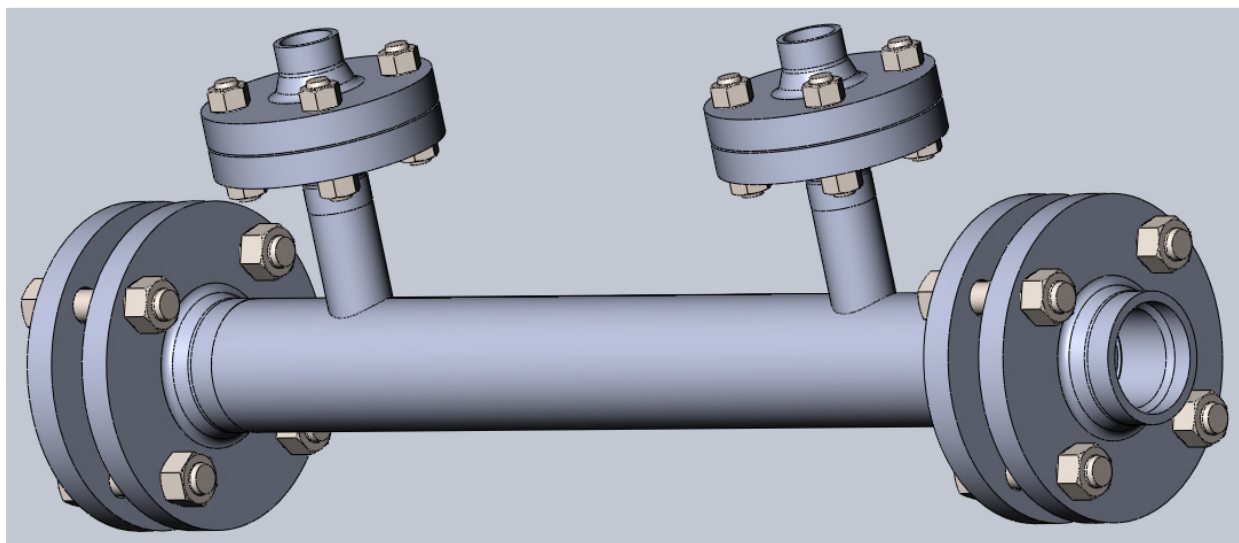


Рис.1. 3D-модель теплообменного аппарата с поверхностными интенсификаторами

Отличительной особенностью данной 3D-модели является то, что она позволяет легко изменять размеры ТА: для проведения исследований параметров теплообмена при различных расходах теплоносителей была предусмотрена возможность изменения диаметра корпуса и трубной доски (рис. 2). Это позволяет быстро производить оценку массовых и габаритных характеристик теплообменного аппарата.

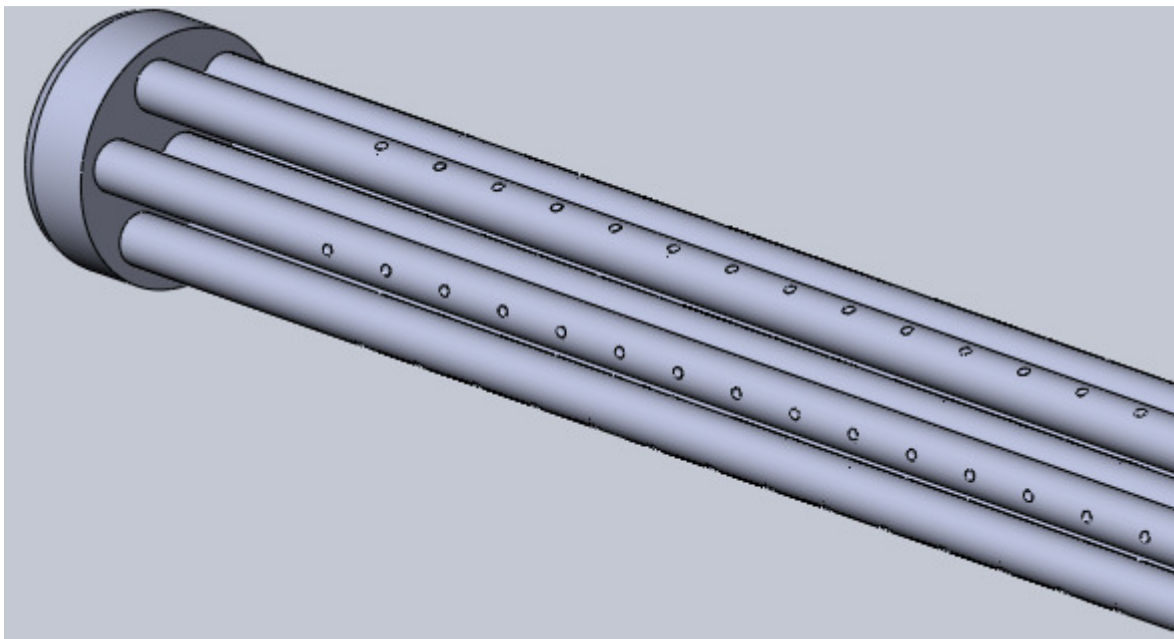


Рис. 2. Подвижная трубная доска с трубками

Создание 3D-модели с использованием нескольких вариантов размещения сферических выемок позволяет легко проводить оптимизацию конструкции прототипа теплообменного аппарата. В частности, данная 3D-модель позволяет осуществлять очень широкий спектр исследований методом математического моделирования в расчетной среде ANSYS. По созданной 3D-модели теплообменного аппарата можно получить расчетные сетки для определения как собственно теплопередачи, так и режимов и особенностей протекания рабочих сред в межтрубном и внутритрубном пространствах.

Для этого модель теплообменного аппарата была создана таким образом, что пользователь может выбрать один из 11 вариантов размещения сферических выемок на трубках. В этих вариантах переменными величинами являются:

- количество выемок в одном сечении — от 2 до 6;
- глубина выемок — от 0,1 мм до 0,8 мм;
- шаг между выемками — от 2 мм до 8 мм;
- общее количество выемок;
- схема расположения (лунки могут быть расположены последовательно друг за другом в два ряда (рис. 4) или в шахматном порядке (рис. 5)).

При этом диаметры труб, их количество, расположение, а также длина и радиус выемок остаются неизменными.

Моделирование проводилось в системе автоматизированного проектирования «Solid Works». Она обладает большими возможностями для создания параметрических

моделей: данная система автоматизированного проектирования позволяет создать таблицу конфигураций (рис. 3), с помощью которой пользователь легко может выбрать нужную конфигурацию. Модель перестраивается под другой вариант расположения сферических выемок автоматически при нажатии на одну клавишу. Таким образом, параметризация позволяет за короткое время «проиграть» (с помощью изменения параметров или геометрических соотношений) различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок.

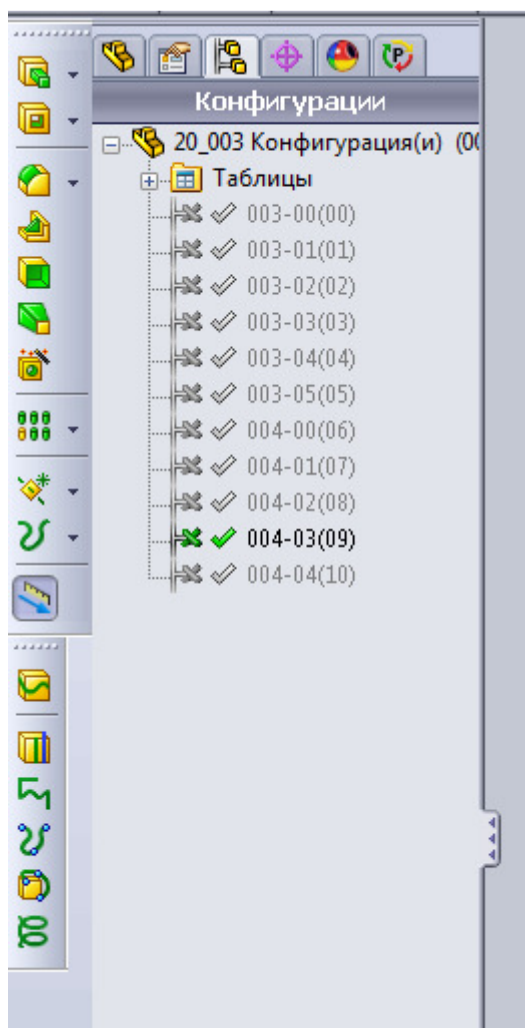


Рис. 3. Таблица конфигураций, созданная в среде «Solid Works» для исследования влияния параметров сферических выемок на характеристики теплообмена

При этом автоматически будут перестраиваться не только 3D-модель и 3D-разрезы трубки с поверхностными интенсификаторами как отдельной детали, но также изменятся параметры лунок на трубках в 3D-моделях сборочных единиц, в которые трубки входят как составные части. Данное свойство позволит значительно упростить и ускорить создание расчетных моделей и рабочей документации.

Таким образом, для исследования теплообмена и выбора наиболее оптимальной

конструкции теплообменного аппарата с поверхностными интенсификаторами в виде сферических лунок в рабочей среде «Solid Works» с использованием параметризации была создана многофункциональная 3D-модель. В данной модели предусмотрена возможность изменения основных размеров теплообменного аппарата, а также параметров расположения сферических лунок (рис. 4, 5), которые за счет двустороннего расположения – с внешней и внутренней стороны трубки (рис. 6) – способствуют улучшению процесса теплообмена.

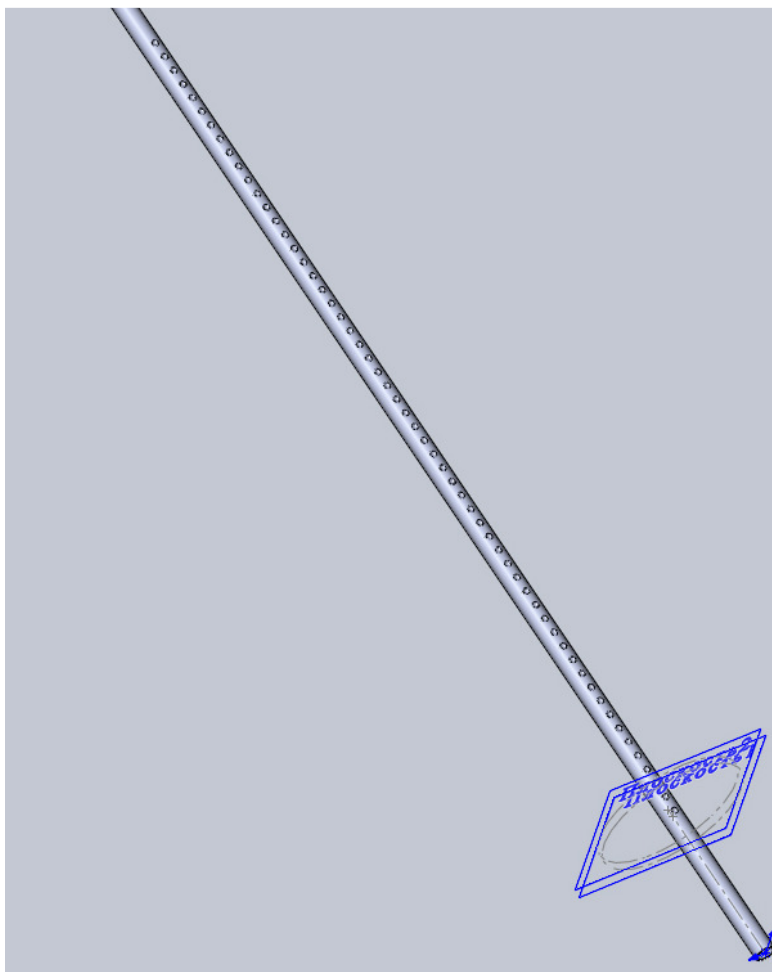


Рис. 4. Пример последовательного расположения сферических лунок

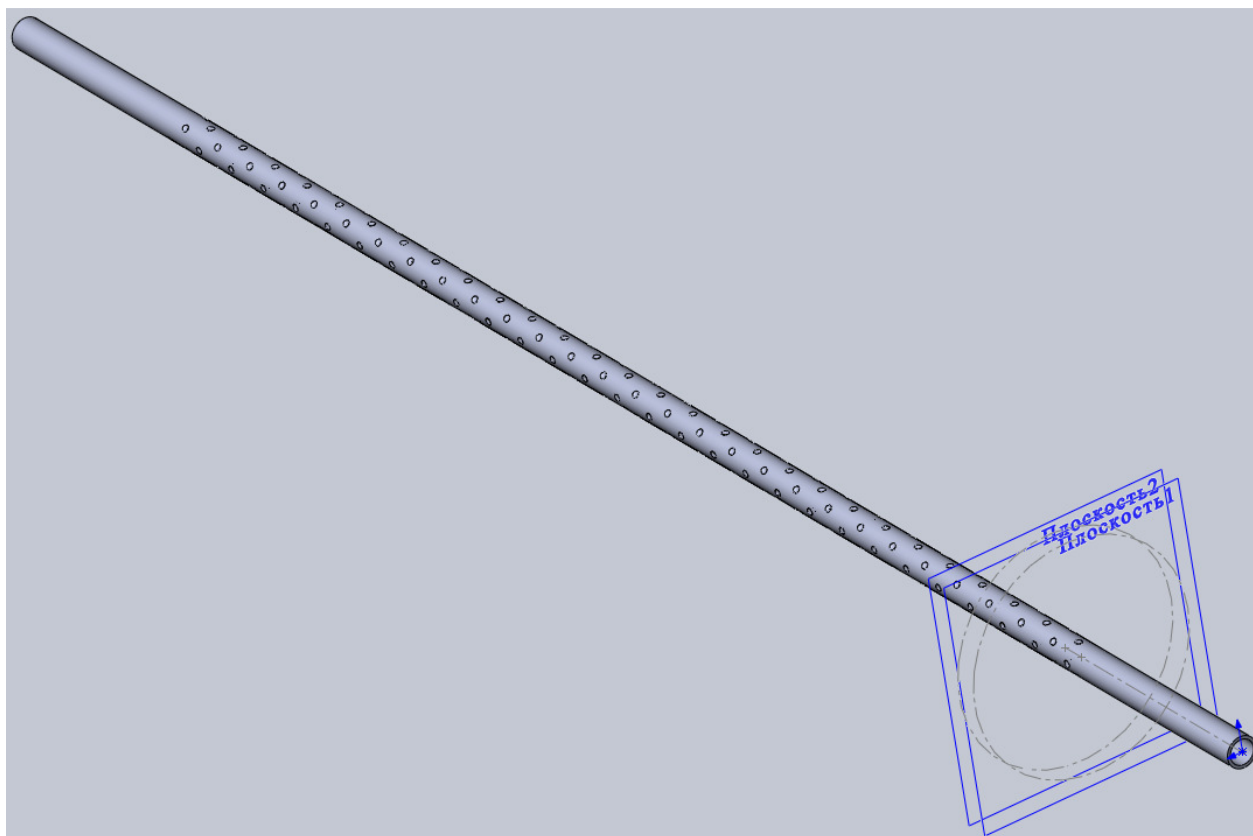


Рис. 5. Пример расположения сферических лунок в шахматном порядке

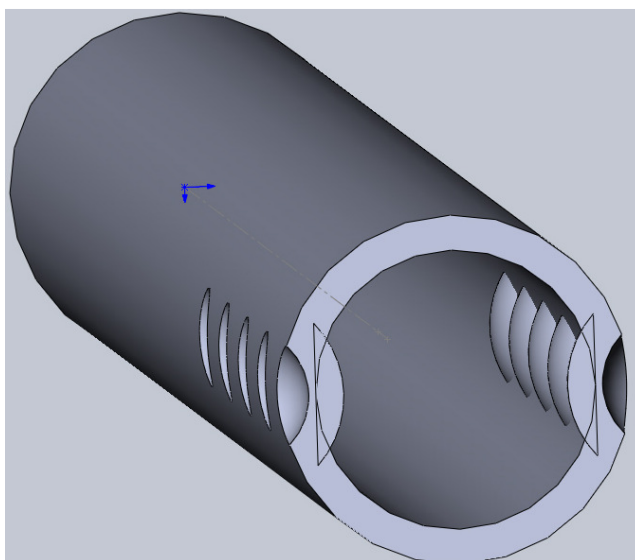


Рис. 6. Вид трубки с поверхностными интенсификаторами в разрезе

Список литературы

1. Леонтьев А.И., Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В., Дилевская Е.В., Попов И.А., Каськов С.И., Щелчков А.В. Разработка фундаментальных основ создания прототипов энергоэффективных теплообменников с поверхностной

- интенсификацией теплообмена // Труды 4-ой Российской национальной конференции по теплообмену: пленарные и общие проблемные доклады. Том 1. Доклады на круглых столах. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. С. 253-257.
2. Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Олимпиев В.В., Щелчков А.В., Каськов С.И. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 531 с.
 3. Дилевская Е.В., Засыпкина Н.А., Каськов С.И. Влияние теплогидравлических характеристик микротеплообменников на энергопотребление и массогабаритные параметры криогенных установок с дросселированием хладагентов // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 9-11.
 4. Дилевская Е.В., Каськов С.И., Леонтьев А.И. Вихревая интенсификация теплообмена - нетрадиционный способ повышения энергоэффективности охладителей силовых электронных устройств // Вестник Международной академии холода. 2007. № 4. С. 30-32.
 5. Дилевская Е.В., Каськов С.И., Леонтьев А.И. Исследование тепловых режимов мощных полупроводниковых преобразователей энергии // Вестник Международной академии холода. 2008. № 4. С. 34-38.