



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. 2023, № 1, с.28-34.

Поступила: 22.05.2023

Окончательный вариант: 22.05.2023

© УлГУ

УДК 004.942: 629.7.05

Моделирование конструкции нагревательных элементов приемника воздушного давления

Закалин А. Ю.^{1,2,*}, Павлов П. Ю.¹

[*klinch7399@gmail.com](mailto:klinch7399@gmail.com)

¹УлГУ, Ульяновск, Россия

²АО «УКБП», Ульяновск, Россия

Статья посвящена моделированию конструкции нагревательных элементов приемника воздушных давлений с использованием SOLIDWORKS 2022 и модуля Simulation. Созданная модель предусматривает возможность исследования переходных температурных процессов для построения температурного поля в зависимости от задаваемых параметров. Параметрами могут служить выделяемая тепловая мощность нагревательных элементов, начальная температура, тепловые потоки и конвективная теплоотдача.

Ключевые слова: нагревательные элементы, приемники воздушных давлений, температурные исследования

Введение

В настоящее время системы компьютерного моделирования шагнули далеко вперед и позволяют проводить анализ проектируемых конструкций с достаточной точностью, не прибегая к натурным испытаниям, позволяя ускорить процессы разработки новых изделий.

Одним из путей использования компьютерного моделирования являются температурные исследования, в частности позволяющие оценить эффективность обогрева критических узлов летательных аппаратов для защиты от обледенения, например – приемников воздушных давлений.

Приёмник воздушного давления (ПВД) летательного аппарата — устройство отбора сигналов атмосферного давления для подачи их в системы статического и динамического давления, а также на ряд электрических датчиков систем отображения полётной информации, в автоматику двигателей и целый ряд других систем самолёта (потребителей). Применяется как первичная часть бортовой системы воздушных сигналов (СВС) для вычисления приборной и воздушной скорости, истинной воздушной скорости,

вертикальной скорости и барометрической высоты на самолётах, вертолётах и пр. ПВД оснащаются устройствами электрообогрева, для предотвращения обледенения и закупоривания в СВС.

Обледенение или закупоривание каналов давления в приемниках воздушных давлений приводит к искажению информации о статическом или динамическом давлении, что в свою очередь, приводит к ошибкам в восприятии скорости и высоты летательного аппарата.

В данной работе приводится пример использования модуля Simulation в программе SOLIDWORKS для моделирования процесса обогрева приемника при запуске на пониженных рабочих температурах.

Методология и результаты

Методика моделирования термического процесса с помощью модуля Simulation должна включать в себя следующие этапы:

1. Оптимизация 3D-модели изделия;
2. Настройка параметров термического исследования;
3. Задание материалов деталей, входящих в сборку;
4. Задание термических нагрузок;
5. Проведение расчета;
6. Анализ результатов исследования.

Прежде чем приступать к самому процессу исследования, необходимо четко поставить задачу исследования и оцениваемые критерии. В данной работе рассматривается процесс обогрева приемника воздушных давлений, при включении на пониженной рабочей температуре.

В соответствии с техническим заданием на исследуемый приемник, время готовности к работе составляет 3 минуты, пониженная рабочая температура составляет $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. В соответствии с этим, чтобы конструкция была защищена от негативных последствий обледенения, необходимо выполнение следующих условий:

1. Температура внешней поверхности воспринимающей части и стойки приемника должна быть выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ спустя 3 минуты после включения обогрева;
2. Температура трубопроводов статического и полного давлений должна быть выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ спустя 3 минуты после включения обогрева.

В соответствии с методикой, первым этапом является оптимизация 3D-модели изделия. Оптимизация необходима для сокращения необходимых вычислительных ресурсов, требуемых для проведения расчета. В качестве методов, допускаемых при оптимизации модели, является удаление незначительных по размеру деталей (например, крепежные элементы), упрощение геометрии, некритичной для проводимого исследования (удаление резьбы, фасок, скруглений, имеющих незначительные размеры). При этом пустоты, образуемые удалением крепежных элементов, рекомендуется заполнять и включать в детали.

На рис. 1 представлена подготовленная 3D-модель приемника, используемого для моделирования процессов теплопереноса.

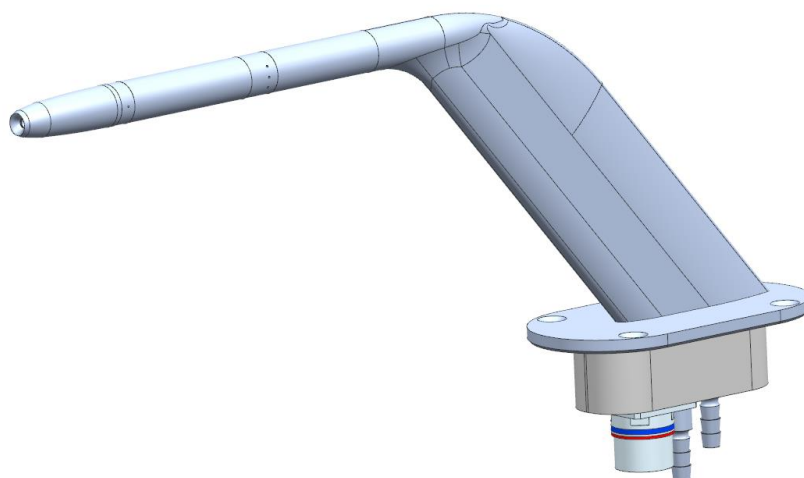


Рис. 1. 3D-модель приемника воздушных давлений

Далее настраиваются параметры термического исследования в модуле Simulation. Переходим во вкладку Simulation, создаем новое термическое исследование и переходим во вкладку «Свойства» (рис. 2). Устанавливаем «Тип решения» на «Переходный процесс», задаем общее время 180 секунд, временной инкремент 5 секунд.

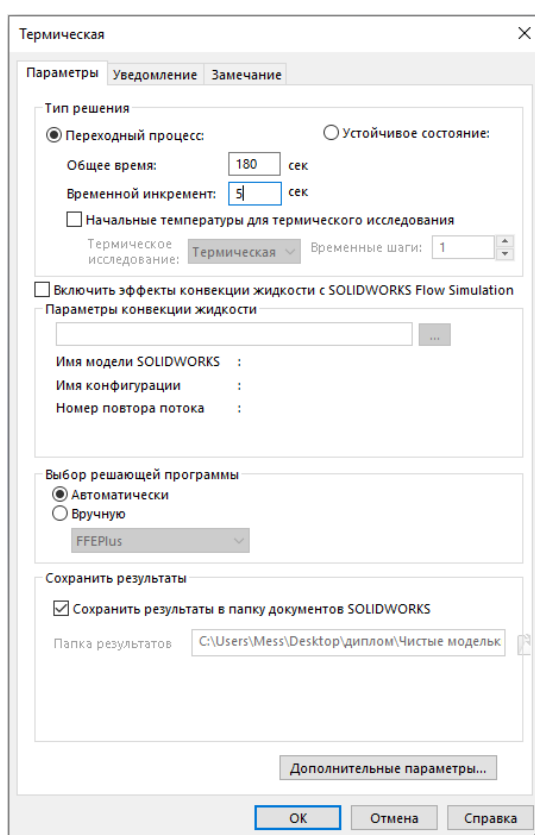


Рис. 2. Свойства термического исследования

Далее необходимо задать материал для всех деталей, входящих в сборку. Для этого на левой панели раскрываем вкладку «Детали», нажимаем правой кнопкой мыши на каждую деталь и выбираем «Применить/редактировать материал». Открывается окно выбора материала, в котором необходимо найти либо создать используемый материал. Для термического исследования обязательно заполнение следующих свойств материала:

1. массовая плотность;
2. теплопроводность;
3. удельная теплоемкость.

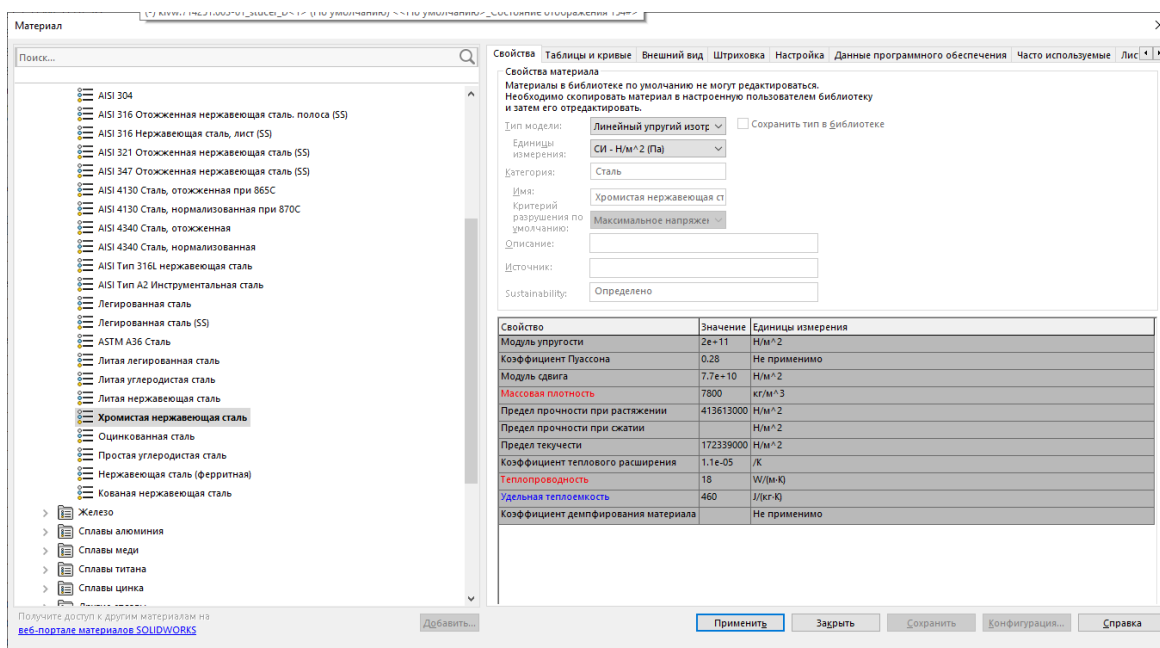


Рис. 3. Окно выбора материала

Далее необходимо задать термические нагрузки в соответствии с условиями нашей задачи. Для этого на левой панели нажимаем правой кнопкой мыши по вкладке «Термические нагрузки». Создаем следующие типы нагрузок:

1. Начальная температура;
2. Тепловая мощность;
3. Конвекция.

Начальную температуру необходимо задать для всех деталей входящих в сборку, в рамках нашего исследования начальная температура составляет $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тепловая мощность задается для каждого из нагревательных элементов приемника. Так как в приемнике используются нагревательные элементы с никелевыми жилами,

обладающими различным электрическим сопротивлением при разных температурах, необходимо задать зависимость мощности от температуры в виде кривой (Рисунок 4).

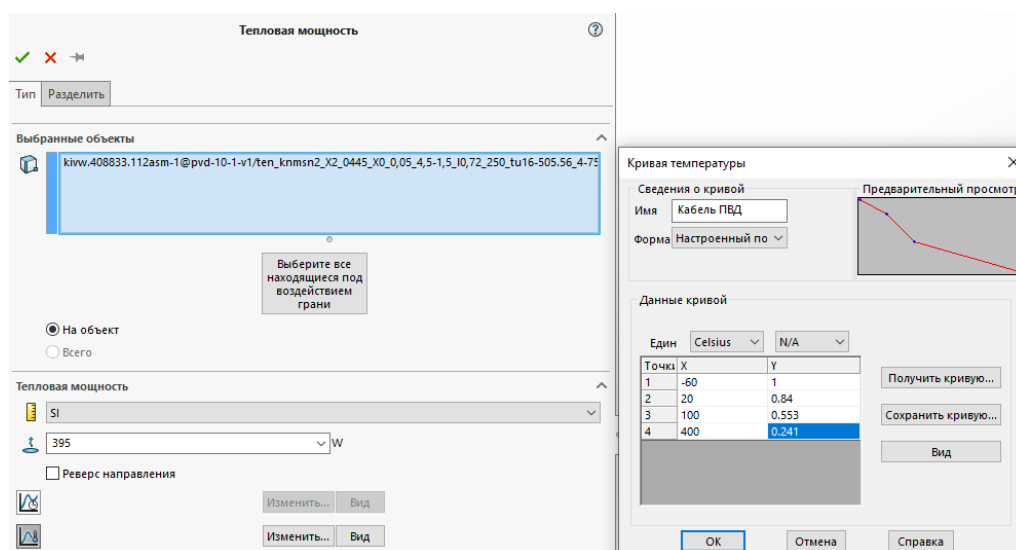


Рис. 4. Зависимость мощности от температуры

При задании конвекции указываем все внешние грани приемника, контактирующие с окружающим воздухом. Температура воздуха устанавливается равной $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициент конвективной теплоотдачи для неподвижного воздуха $5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

После установки всех параметров на верхней панели нажимаем «Выполнить данное исследование». Сетка для расчета строится автоматически.

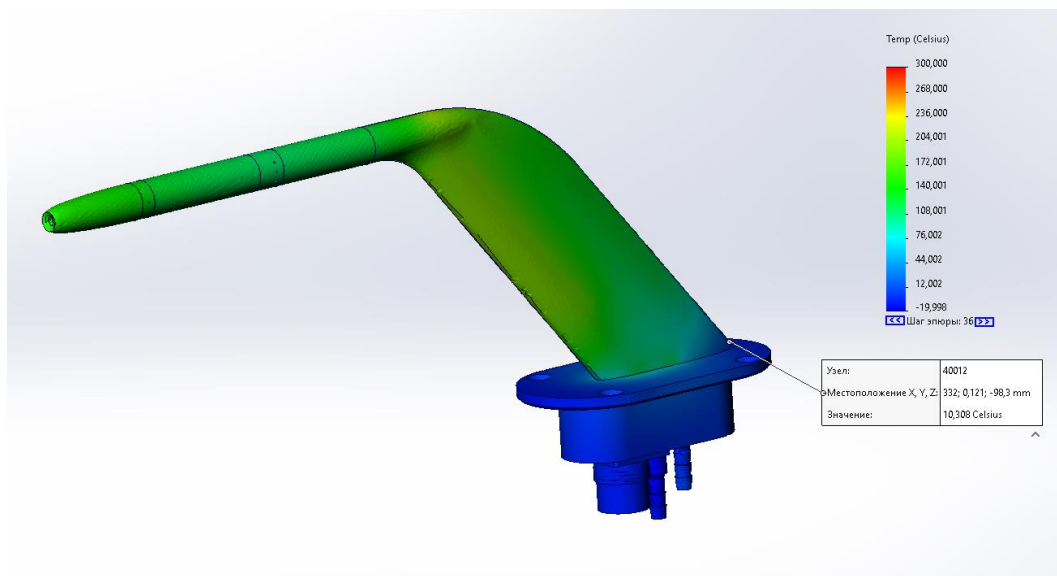


Рис. 5. Распределение температуры на поверхностях приемника

В результате расчета получаем следующие результаты:

1. Минимальная температура на поверхностях приемника составила $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в области соединения стойки с фланцем приемника, что удовлетворяет поставленным условиям (рис. 5).

2. Минимальная температура трубопровода полного давления составила -13°C в районе штуцера, что представляет риск закупоривания канала ледяной пробкой при попадании воды внутрь канала (рис. 6).

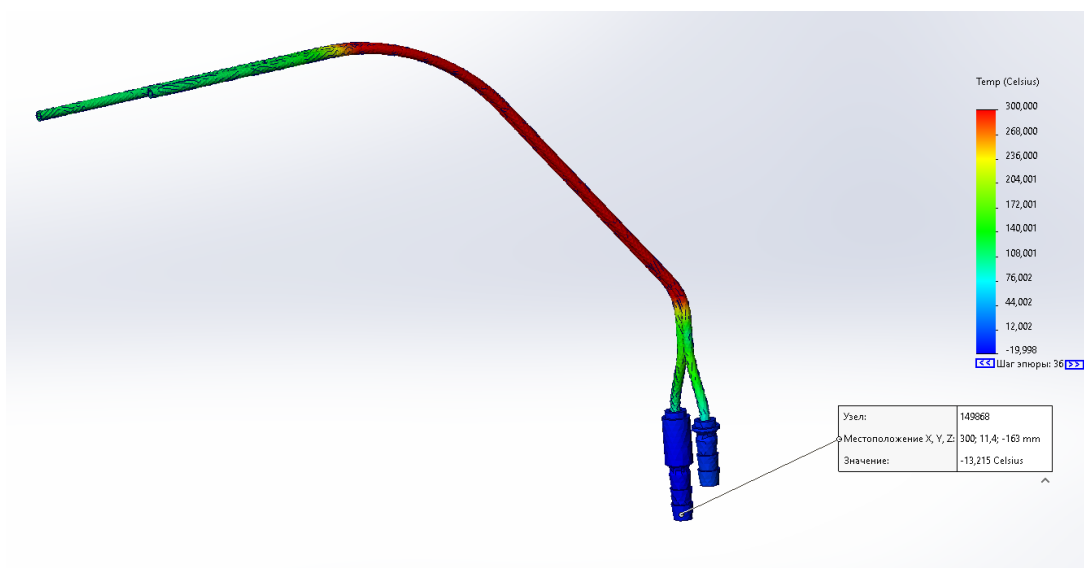


Рис. 6. Распределение температуры на трубопроводах

Таким образом, моделирование показало, что конструкция обогрева приемника обеспечивает недостаточный прогрев трубопроводов в области штуцеров. В качестве возможного решения можно предложить следующие варианты:

1. Установка дополнительного нагревательного элемента в кожухе приемника;
2. Изменение материала, используемого для трубопроводов на более теплопроводный (в изначальной конфигурации используется нержавеющая сталь 12X18H10T, в качестве замены можно рассматривать медные сплавы).

Заключение

В статье был проведен температурный анализ конструкции приемника воздушного давления с использованием программы SOLIDWORKS и ее модуля Simulation. Была рассмотрена методика моделирования, ее этапы и их реализация на практическом примере.

Моделирование конструкции нагревательных элементов приемника воздушного давления позволило выявить недостатки конструкции обогрева, что позволяет, не прибегая к натурным испытаниям внести изменения в конструкцию и ускорить процесс разработки изделия.

Список литературы

1. Ключев Г. И., Макаров Н. Н., Солдаткин В. М., Ефимов И. П. Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов: учебное пособие / под ред. В. А. Мишина. Ульяновск : УлГТУ, 2005. 509 с.
2. Тенишев Р. Х. и др. Противообледенительные системы летательных аппаратов. Основы проектирования и методы испытаний. М.: Машиностроение, 1967.
3. Сахаров В. И. и др. Математическое моделирование тепловых и газодинамических процессов при проектировании летательных аппаратов: учебное пособие. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 212 с.
4. Программный комплекс САПР SolidWorks, модуль Simulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/domain/simulation> (дата обращения 22.05.2023).

Modeling the heating elements of the pitot-static tube

Zakalin, A. Yu.^{1,2,}, Pavlov, P. Yu.¹*

*klinch7399@gmail.com

¹Ulyanovsk State University, Russia

²JSC «UIMBD», Ulyanovsk, Russia

The paper is devoted to the study of the heating elements of the pitot-static tube using SOLIDWORKS 2022 and the Simulation module. The module provides for the possibility of studying transient temperature processes to construct a temperature field depending on the set parameters. The parameters can be the heat output of the heating elements, the initial temperature, heat flows, and convective heat transfer.

Key words: heating elements, pitot-static tube, SOLIDWORKS, temperature study