

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-597-602

NUMERICAL SIMULATION OF TEMPERATURE FIELDS IN TENT-SHELTER FOR DRYING SHIP HULL PARTS

P. V. Yakovlev¹, I. S. Prosvirina²

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia Federation

²Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, Russia Federation

The advantages of numerical simulation before the experimental measurements on the example of modeling the temperature fields in tent-shelter for drying marine metal parts. In the winter time at negative temperatures of external air painting and drying of the finished products is advantageously carried out in a specially equipped tent on the premises with an artificially maintained temperature, as the deviation from the recommended temperature regimes leads to uneven and slow drying of the paint. Most often the painted ship body parts have a complex geometrical form, therefore, under the given boundary conditions of the distribution pattern of temperature and flow speed can be obtained only by numerical methods. The aim of this work is to obtain a numerical model of the drying chamber with large painted detail on the platform of Solid Work. Adding in the numerical model boundary conditions to obtain the distribution of temperature and velocity of the fluid, and temperature of a solid body at any point. In the tent-shelter there is a complex heat transfer, which describes the boundary condition of the 3rd kind, and the air temperature sets the boundary conditions of the 1st kind, in the exhaust holes of the air is atmospheric pressure. The speed at the inlet is determined by the pressure loss in the air passage, in this regard, the border is set to the main characteristic of the fan. Control of the heating system by varying the temperature of the supply air and its flow. In combination with the feature of the geometric dimensions of the chamber and drying of the parts, all this inevitably affects the temperature distribution on the surface of the part. The use of numerical models allows to solve the problem of selection of heater for temporary shelter type tent with providing the required parameters of the workpiece surface, ensuring the quality of production shipyards.

Keywords: numerical model, temperature field, boundary conditions, velocity, fluid, heater.

For citation:

Yakovlev, Pavel V., and Irina S. Prosvirina. "Numerical simulation of temperature fields in tent-shelter for drying ship hull parts." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.3 (2017): 597–602. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-597-602.

УДК 629.128

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ШАТРОВОМ УКРЫТИИ ДЛЯ СУШКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

П. В. Яковлев¹, И. С. Просвирина²

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Россия

²ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный
университет», Астрахань, Россия

Рассмотрены преимущества численного моделирования перед экспериментальными измерениями на примере моделирования температурных полей в шатровом укрытии для сушки судовых металлических деталей. В зимнее время, при отрицательных температурах наружного воздуха, окрасочные работы и сушку готовых изделий целесообразно проводить в специально оборудованных тентовых помещениях с искусственно поддерживаемой температурой, так как отклонение от рекомендуемых температурных режимов приводит к неравномерному и медленному высыханию краски. Чаще всего окрашиваемые судовые корпусные детали имеют сложную геометрическую форму, поэтому при заданных граничных условиях картины распределения температурных и скоростных потоков можно получить только численными методами. Целью работы является получение численной модели сушильной камеры с крупногабаритной окрашенной деталью на платформе Solid Work. Добавив в численную модель граничные условия, можно

получить картины распределения температур и скорости текучей среды, а также температур твердого тела в любой точке. В шатровом укрытии присутствует сложный теплообмен, который описывается граничным условием 3-го рода, а температура воздуха задается граничными условиями 1-го рода, в выпускных отверстиях воздух имеет атмосферное давление. Скорость на входе определяется потерями давления в воздушном тракте, в связи с этим на границе задается главная характеристика вентилятора. Управление системой подогрева осуществляется изменением температуры подаваемого воздуха и его расходом. В сочетании с особенностью геометрических размеров камеры и высушиваемых деталей всё это неизбежно отражается на распределении температур на поверхности детали. Использование численной модели позволяет решить задачу подбора тепловентилятора для временного укрытия шатрового типа с обеспечением требуемых параметров поверхности детали, обеспечивая качество изготовления продукции судостроительных предприятий.

Ключевые слова: численная модель, температурные поля, граничные условия, скорость, текучая среда, тепловентилятор.

Для цитирования:

Яковлев П. В. Численное моделирование температурных полей в шатровом укрытии для сушки судовых корпусных деталей / П. В. Яковлев, И. С. Просвирина // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 597–602. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-597-602.

Введение

На судостроительных заводах в зимний период года, когда температура наружного воздуха опускается ниже 0 °С, технология сушки окрашенных судовых корпусных деталей затрудняется. Эта проблема решается размещением над сохнувшей конструкцией временного шатрового укрытия, которое не требует построения фундамента и занимает минимальное количество времени для установки. Положительная температура внутри шатра поддерживается тепловентилятором, расположенным снаружи и через нагнетательный патрубок подающим теплый воздух непосредственно в укрытие.

Численное моделирование

Зачастую окрашиваемые детали имеют сложную геометрическую форму, поэтому при заданных граничных условиях картины распределения температурных и скоростных потоков можно получить только численными методами. Методы численного моделирования представляют собой альтернативу экспериментальным измерениям и содержат реальные данные о геометрических характеристиках, свойствах материалов и граничных условиях объекта исследования [1]. Для численного решения практических задач, связанных с распределением температурных полей и течением воздуха, требуется, как правило, интегрирование системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных по пространственным координатам и времени [2] – [4]. Исходными дифференциальными уравнениями в решении задачи формирования температурных полей в шатровом укрытии для сушки судовых корпусных деталей являются уравнение сохранения энергии, учитывающее свободную конвекцию, уравнение движения с гравитационной составляющей и уравнение неразрывности.

Исходные дифференциальные уравнения имеют вид [5]:

$$\frac{d\bar{w}}{dt} = -g\beta\Delta t - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

где w — скорость, м/с; τ — время, с; g — ускорение свободного падения, м/с²; β — коэффициент объёмного расширения, К⁻¹; ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с; ρ — плотность, кг/м³; p — давление, Па; x, y, z — координаты, м; a — коэффициент теплопроводности, м²/с.

Система уравнений (1) – (3) дополняется условиями однозначности: начальными и граничными условиями.

Ввиду того, что поверхность тента имеет практически такую же температуру, что и наружный воздух, вблизи ограждающей конструкции возникает свободная конвекция, поднимающая теплые потоки внутреннего воздуха вверх. Нагрев воздуха происходит с помощью тепловентилятора, который создает в помещении вынужденную конвекцию. Таким образом, в шатровом укрытии присутствует сложный теплообмен, который можно описать граничным условием 3-го рода — заданием коэффициента теплопередачи с учетом теплопроводности материала тента, составляющего 15 Вт/(м²·К). Температура воздуха задается граничными условиями 1-го рода и составляет, по рекомендациям технологии сушки, 20 °С [6], в выпускных отверстиях воздух имеет атмосферное давление.

Скорость на входе определяется потерями давления в воздушном тракте, в связи с чем на границе может быть задана только главная характеристика самого вентилятора [7]. Главная характеристика осевого вентилятора В006-300 № 5 приведена на рис. 1.

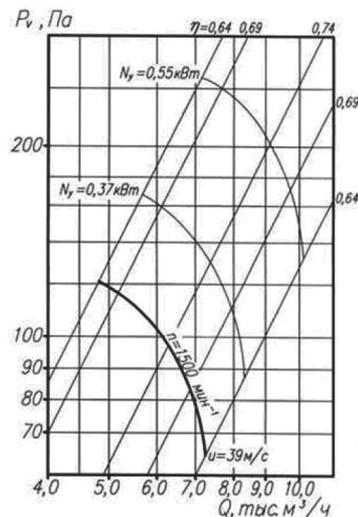


Рис. 1. Аэродинамические характеристики осевого вентилятора В006-300 № 5

Граничные условия поверхностей детали и стенок камеры принимаются исходя из условия равенства нулю скорости воздушного потока [8] – [10]. Один из вариантов численной модели при размерах шатрового укрытия 30×20×21,5 м и размерах окрашенной детали 24×14×10 м, исследованный в программе Solid Work, представлен на рис. 2.

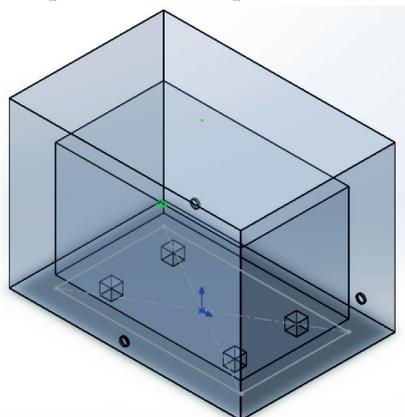


Рис. 2. Численная модель исследуемого объекта

Добавив в численную модель перечисленные граничные условия, можно получить картины распределения температур (рис. 3) и скорости текучей среды (рис. 4), а также температур твердого тела в любой точке (рис. 5).

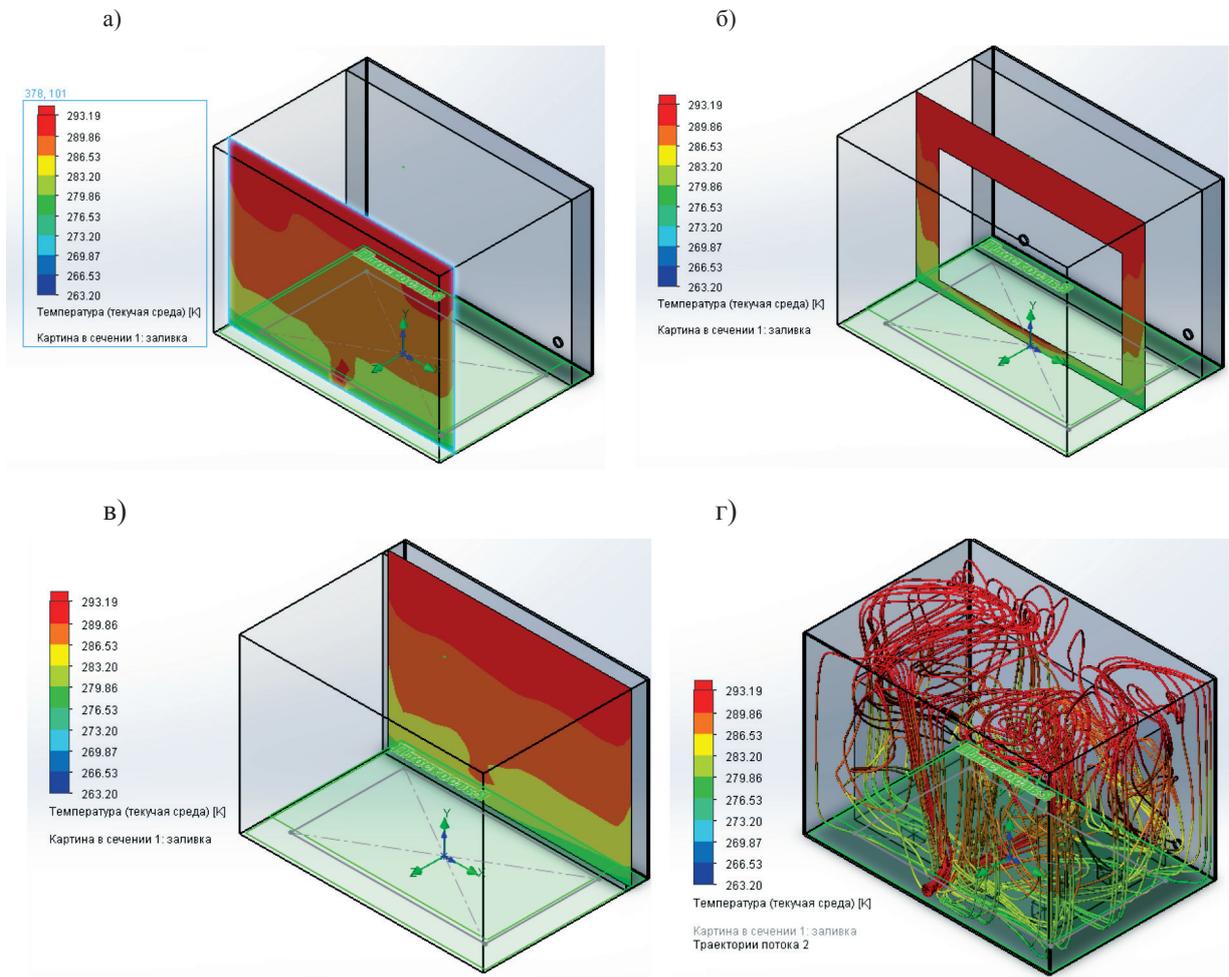


Рис. 3. Картины и траектории распределения температур текучей среды:

- а — поле температур в плоскости перед окрашенной деталью;
- б — поле температур в районе мидельного сечения детали; в — поле температур за деталью;
- г — линии тока с распределением температур в объеме камеры

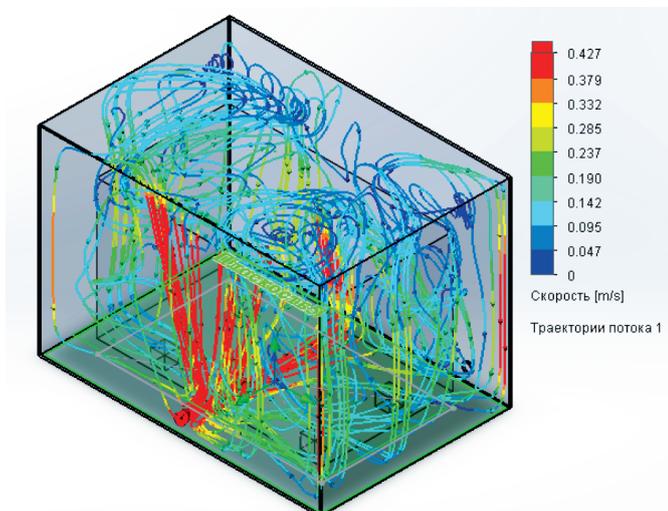


Рис. 4. Траектории движения и распределения скоростей воздуха в объеме камеры

Наиболее ценной является информация о температурных полях на поверхности высушиваемого лакокрасочного покрытия, так как основной целью камеры является обеспечение качества окраски. На рис. 5 представлены графики изменения температур передней, относительно места установки калорифера, и задней граней судокорпусной детали. Как видно из графиков, наиболее проблемной, с позиции неравномерности распределения температур, является передняя грань. В зоне подачи нагретого воздуха деталь перегревается, в нашем случае — почти на 4 °С.

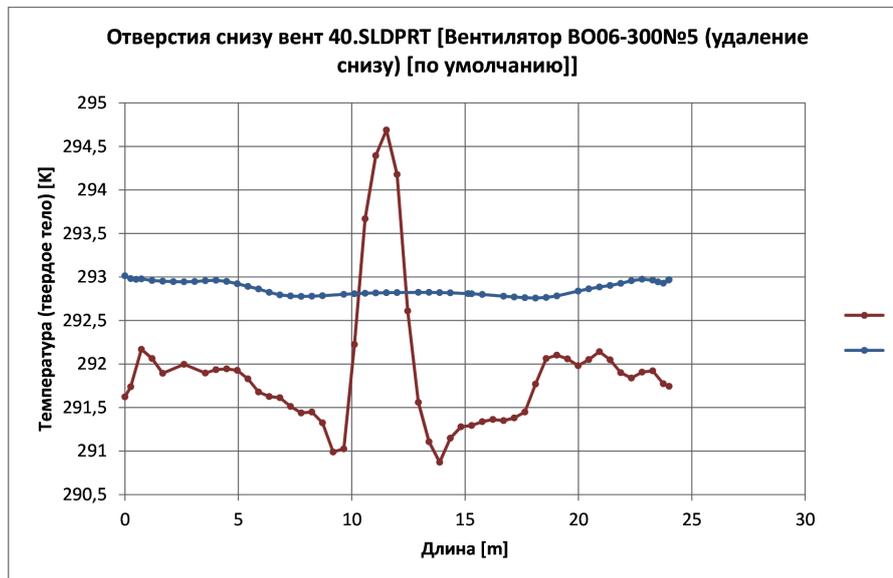


Рис. 5. Графики распределения температур по длине передней (красная) и задней (синяя) граней исследуемой детали

Учитывая разнообразие климатических условий, можно сказать, что количество подводимого в камеру тепла может изменяться в широком диапазоне. Управление системой подогрева осуществляется изменением температуры подаваемого воздуха и его расходом. В сочетании с особенностью геометрических размеров камеры и высушиваемых деталей всё это неизбежно отражается на распределении температур по поверхности детали.

Вывод

Использование численной модели позволяет решить задачу подбора калориферов для временного укрытия шатрового типа с обеспечением требуемых параметров поверхности детали, обеспечивая качество изготовления продукции судостроительных предприятий. Вместе с тем в судостроительной практике разработка моделей для значительного разнообразия геометрических, климатических и технологических условий нерациональна и затратна. В связи с этим представляется необходимой разработка упрощённых методик подбора параметров климатического оборудования для нужд судостроительных предприятий. Для решения этой задачи необходимо проведение исследований данной проблемы с последующим обобщением результатов с помощью теории подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена: пер. с англ / Д. Ши. — М.: Мир, 1988. — 544 с.
2. Лыков А. В. Тепломассообмен: справочник / А. В. Лыков. — М.: Энергия, 1978. — 480 с.
3. Пасконов В. М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В. М. Пасконов, В. П. Полежаев, Л. А. Чудов. — М.: Наука, 1984. — 288 с.
4. Самарский А. А. Введение в численные методы / А. А. Самарский. — М.: Наука, 1982. — с. 269.
5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и механики жидкости / С. Патанкар: пер. с англ. под ред. Е. Д. Виленского. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 152 с.

6. Судовые краски, краска для судов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: spec-emal.ru (дата обращения — 20.12.2016).
7. Вентиляторы осевые низкого давления — ООО «Партнер» [док. внутреннего пользования]. — Пермь: ООО «Партнер», 2010. — 6 с.
8. Коптев А. В. Теоретическое исследование обтекания цилиндра потоком идеальной несжимаемой среды при наличии экранирующего эффекта / А. В. Коптев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 127–137. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-127-137.
9. Яковлева А. П. Моделирование ветровой защиты морских нефтяных платформ / А. П. Яковлева, П. В. Яковлев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2013. — № 2. — С. 67–71.
10. Мартюшев С. Г. Численный анализ сопряженной термогравитационной конвекции и теплового поверхностного излучения в замкнутом кубе, заполненном диатермичной средой / С. Г. Мартюшев, И. В. Мирошниченко, М. А. Шеремет // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. — 2014. — № 2. — С. 111–120.

REFERENCES

1. Shi, D. *Chislennye metody v zadachakh teploobmena: per. s angl.* M.: Mir, 1988.
2. Lykov, A. V. *Teplomassoobmen: Spravochnik.* M.: Energiya, 1978.
3. Paskonov, V. M., V. P. Polezhaev, and L. A. Chudov. *Chislennoe modelirovanie protsessov teplo- i massoobmena.* M.: Nauka, 1984.
4. Samarskii, A. A. *Vvedenie v chislennye metody.* M.: Nauka, 1982.
5. Patankar, S. *Chislennye metody resheniya zadach teploobmena i mekhaniki zhidkosti.* Edited by E. D. Vilenski. M.: Energoatomizdat, 1984.
6. Sudovye kraski, kraska dlya sudov. Web. 20 Dec. 2016 <spec-emal.ru>.
7. *Ventilyatory osevye nizkogo davleniya* — ООО «Partner». Perm': ООО «Partner», 2010.
8. Koptev, Aleksandr Vladimirovich. "Theoretical research of the flow around cylinder of an ideal incompressible medium in the presence of a shielding effect." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(36) (2016): 127–137. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-127-137.
9. Yakovleva, Anna Pavlovna, and Pavel Victorovich Yakovlev. "Simulation of wind protection of marine oil platforms." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2013): 67–71.
10. Martyushev, Semen Grigor'evich, Igor' Valer'evich Miroshnichenko, and Mikhail Aleksandrovich Sheremet. "Numerical analysis of conjugate natural convection and thermal surface radiation in a cube filled with diathermanous medium." *The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science* 2 (2014): 111–120.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Яковлев Павел Викторович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414056, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Татищева, 16
e-mail: zvs01jak@rambler.ru
Просвирина Ирина Сергеевна —
старший преподаватель
ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет»
414056, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Татищева, 18
e-mail: Isp15@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yakovlev, Pavel V. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Astrakhan State Technical University
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: zvs01jak@rambler.ru
Prosvirina, Irina S. —
Senior lecturer
Astrakhan State University of Architecture
and Civil Engineering
18 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: Isp15@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16 марта 2017 г.
Received: March 16, 2017.