

## Анализ работы гидравлических полотенцесушителей с применением CFD - моделирования

*М.А. Лазурина*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

**Аннотация:** Сегодня CFD-моделирование представляется одним из наиболее доступных и точных способов расчета характеристик потоковых процессов с помощью вычислительных и физико-математических методов при решении практических задач является. В частности, оно применяется для определения параметров микроклимата помещений. В настоящей статье описывается процесс моделирования работы гидравлических полотенцесушителей в помещении ванной комнаты жилого здания, а также производится подбор оптимальной конфигурации на основании данных, полученных в результате расчета в программном комплексе STAR CCM+.

**Ключевые слова:** CFD-моделирование, горячее водоснабжение зданий, полотенцесушитель, тепловой поток, теплоперенос, теплоотдача, микроклимат помещений, теплотехнический расчет, SolidWorks, STAR CCM+.

CFD-моделирование (Computational Fluid Dynamics modeling) является одним из подразделов механики сплошных сред, основная задача которого заключается в расчете параметров потока (потоковых процессов) с помощью физических, математических и численных методов. Сегодня CFD-моделирование представляется доступным и высокоточным инструментом исследования в различных областях техники и науки, в особенности, при решении прикладных задач отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Достаточно часто решить поставленную задачу практически невозможно без проведения моделирования, поскольку ни одна стандартная методика расчета не позволяет получить полное представление о стратификации воздушных потоков и микроклимате в исследуемом помещении. [1, 2].

В настоящей статье описывается моделирование процесса теплоотдачи М-образного полотенцесушителя и полотенцесушителя конфигурации и «Лесенка» (рис.1) применительно к проекту жилого многоквартирного здания со встроенными помещениями. Общее количество этажей – 14, в здании имеют-

---

ся подвал и технический этаж. На первом этаже предусмотрены встроенные помещения, со 2-го по 14-го этаж включительно расположены жилые квартиры. Проектируемое жилое здание расположено по адресу: Ленинградская область, п. Мурино, ул. Оборонная.



Рис. 1. – М-образный полотенцесушитель (слева) и полотенцесушитель конфигурации «Лесенка» (справа)

Расход горячей воды для хозяйственно-питьевых нужд составляет 119,07 м<sup>3</sup>/сут. Горячая вода приготавливается в ИТП, откуда затем подается в две самостоятельные системы горячего водоснабжения (далее – ГВС): жилой части и встроенных помещений. Для жилой части здания проектом предусмотрена однозонная система ГВС с нижней разводкой и принудительной циркуляцией, осуществляемой через полотенцесушители гидравлического типа в ванных комнатах. Организация циркуляционного потока предполагается посредством сборных циркуляционных трубопроводов, которые объединяют подающие стояки ГВС каждой из секций проектируемого здания. Подключение гидравлических полотенцесушителей осуществляется без установки запорно-регулирующей арматуры к циркуляционному стояку в каждой квартире.

Ниже на рисунке 2 приводится элементарная схема системы ГВС с водоразборными узлами, состоящими из парных стояков: подающего и циркуляционного. Данная схема находит применение в проектируемом здании.

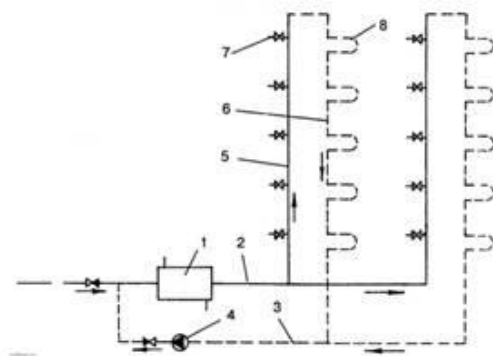


Рис. 2. – Элементарная схема системы ГВС: 1 - водонагреватель; 2 - подающая магистраль; 3 - циркуляционная магистраль; 4 - циркуляционный насос; 5 - подающий стояк; 6 - циркуляционный стояк; 7 - водоразбор; 8 - полотенцесушители

Поскольку встроенные инструменты программы STAR CCM+ не позволяют воссоздать геометрию помещения ванной комнаты с размещенными в ней гидравлическими полотенцесушителями, построение 3D-моделей выполняется в программе SolidWorks. [3].

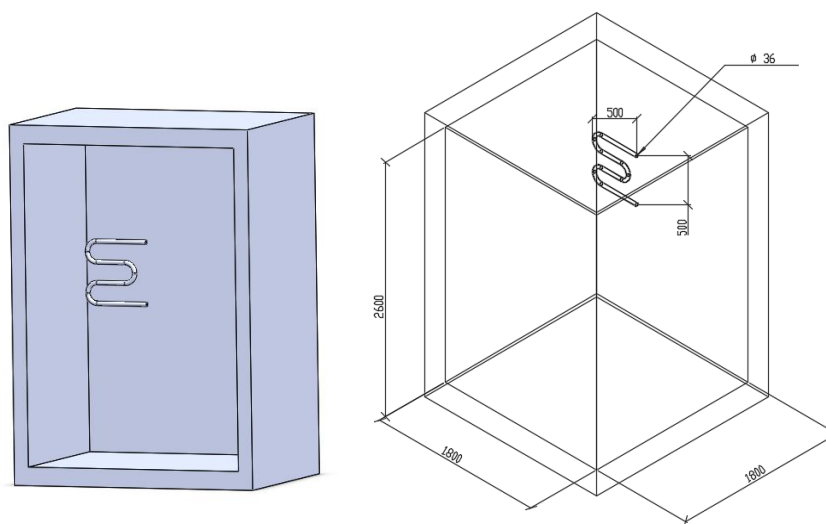


Рис. 3. – 3D-модель помещения ванной комнаты с М-образным полотенцесушителем

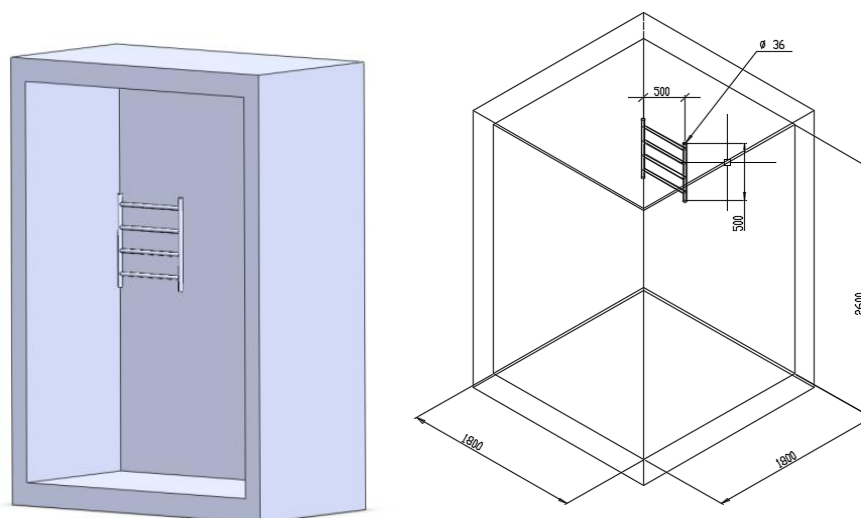


Рис. 4. – 3D-модель помещения ванной комнаты с полотенцесушителем вида «Лесенка»

Созданные в соответствии с проектом модели помещений (размеры помещения в плане 1800x1800 мм, высота помещения 2600 мм) с размещенными приборами (типоразмеры соответствуют паспорту полотенцесушителей) импортируются в STAR CCM+. Далее выполняется построение расчетной сетки. Для решения поставленной задачи генерируется кубическая расчетная сетка. Такая разновидность расчетной сетки с точки зрения геометрии является достаточно простой, но при этом позволяет быстро произвести точный расчет [4].

Важную роль в расчете играют призматические слои – особые элементы расчетной сетки, имеющие форму вытянутых параллелограммов. Они генерируются на границе расчетной области для обеспечения высокого качества расчетной сетки. Здесь толщина ячеек от минимальной на границе искомой поверхности увеличивается постепенно до стандартного, заданного в задаче, размера. В решаемой задаче призматические слои необходимы на границе жидкости (горячей воды) и твердого тела (внутренней поверхности полотенцесушителя) при его обтекании [5].

Теплоотдача приборов рассчитывается в ванной комнате верхнего этажа со стороны торца здания. Исходя из местоположения рассматриваемого помещения, принимаем следующие условия работы полотенцесушителя: границе входа в него вода имеет температуру 70 °С; циркуляционный расход в соответствии с выполненным гидравлическим расчетом системы ГВС принимается равным 0,1 л/с [6]. Расположение искомого помещения на плане здания представлено на рисунке 5.

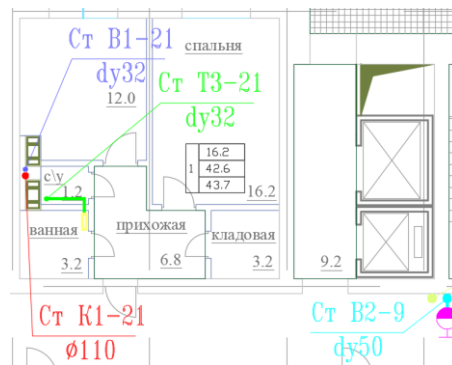


Рис. 5. – Фрагмент плана этажа с указанием расположения ванной комнаты

Для определения коэффициентов теплопроводности ограждающих конструкций выполняется теплотехнический расчет в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Основной задачей теплотехнического расчета наружных ограждений является контроль выполнения всех требований к тепловой защите здания для его энергоэффективности и долговечности ограждающих конструкций. Под энергоэффективностью подразумевается экономия энергии при обеспечении оптимальных параметров микроклимата помещений [7].

Первоначально требуется определить величину градусо-суток отопительного периода (ГСОП) по формуле 1:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут} \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая для жилых зданий по минимальному значению оптимальной температу-

ры 20 °С при расчетной температуре наружного воздуха  $t_n$  выше  $-31$  °С и 21 °С при  $t_n = -31$ °С и ниже;  $t_{от}$ ,  $z_{от}$  – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут., отопительного периода.

По СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» задаемся следующими значениями по месту расположения жилого здания:  $t_n = -24$ °С,  $t_{от} = -1,3$  °С,  $z_{от}=213$  сут. Исходя из этих данных, принимаем  $t_b=20$  °С. Температуру воздуха на лестничной клетке принимаем  $t_{л.к.}=15$  °С, на чердаке  $t_{ч.}=5$  °С

Приведенное сопротивление ограждающей конструкции представляет собой формулу приведенных сопротивлений ее отдельных слоев:

$$R_{0(nm)}^{факт} = R_6 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_n \quad (2)$$

где  $R_6 = \frac{1}{\alpha_6}$  – сопротивление теплопереходу от воздуха помещения к внутренней поверхности ограждения  $\alpha_6$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый и равный для стен, полов, гладких потолков  $\alpha_6 = 8,7$  Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );  $R_n = \frac{1}{\alpha_n}$  – сопротивление теплопереходу от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху;  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, для чердачного перекрытия  $\alpha_n = 12$  Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ); для наружной стены  $\alpha_n = 12$  Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  – сопротивления теплопередаче отдельных слоев ограждения, определяемое по формуле:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт \quad (3)$$

Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле:

$$k_{оп} = \frac{1}{R_{оп}}, Вт / (m^2 \cdot ^\circ C) \quad (4)$$

По изложенной методике выполняется расчет приведенных сопротивлений и коэффициентов теплопроводности для каждой ограждающей конструкции [6].

После задания физических условий и значений на границах областей запускается решение задачи для расчета следующих параметров для обеих конфигураций полотенцесушителей: температура по объему в ванной комнате (также рассматривается стратификация температурных слоев в помещении по объему в двух сечениях: продольном и поперечном относительно прибора), теплоотдача и температура горячей воды на выходе из прибора [8, 9]. Полученные поля распределения температур представлены ниже на рисунках 5 – 8.

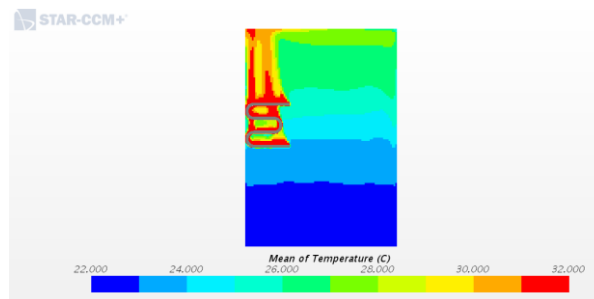


Рис. 5. – Градиент распределения температур (плоское сечение 1)

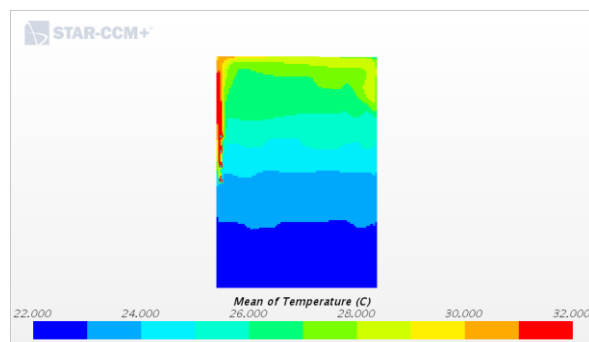


Рис. 6. – Градиент распределения температур (плоское сечение 2)

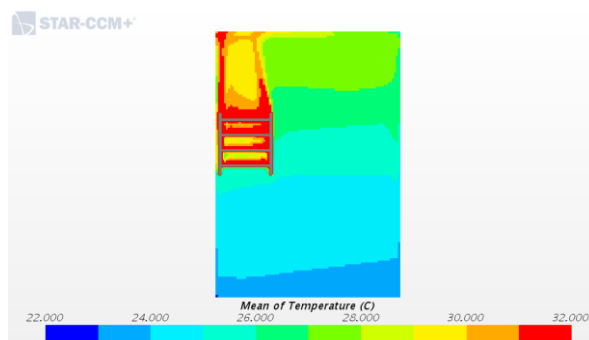


Рис. 7. – Градиент распределения температур (плоское сечение 1)

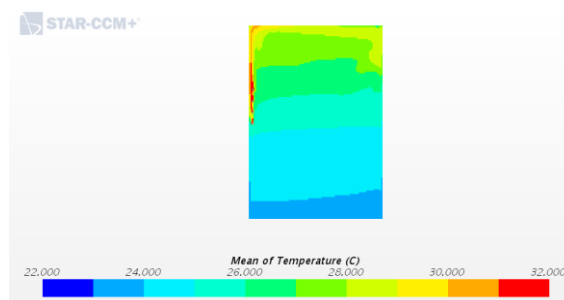


Рис. 8. – Градиент распределения температур (плоское сечение 2)

Расчет теоретической теплоотдачи производится по формуле 5:

$$Q = \frac{G \cdot c \cdot \Delta t}{3,6} \quad (5)$$

где  $G$  – массовый расход кг/ч,  $c$ - удельная теплоемкость теплоносителя (в нашем случае при температуре воды  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $c=4187 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$ ),  $\Delta t$  - изменение температуры воды после прохождения через полотенцесушитель. По результатам расчет в программе STAR CCM+ для М-образного полотенцесушителя  $\Delta t=0,3074\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для «лесенки» –  $\Delta t=0,3538\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Массовый расход в программе задавался в размерности кг/с, поэтому коэффициент 3,6 сокращается. Получаем формулу 6:

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t \quad (6)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица № 1

Результаты расчета

Конфигурация полотенцесушителя	Теплоотдача, рассчитанная в программе STAR CCM+, Вт	Удельная теплоотдача, Вт/м <sup>2</sup>	Теоретическая теплоотдача, Вт	Температура воды на выходе из полотенцесушителя, °C	Температура в помещении, °C
М-образный	128,695	0,0912	128,708	69,6926	24,55
Лесенка	148,141	0,0706	148,136	69,6462	25,28



По результатам расчета установлено, что более высокой удельной теплоотдачей обладает М-образный полотенцесушитель при том, что расчетная величина расчетной теплоотдачи больше у конфигурации «Лесенка». Отметим несущественное превышение значения температуры воздуха, составляющее  $0,73\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в случае с «Лесенкой». Поля градиентов стратификации температуры воздушных слоев по областям в плоских сечении в помещении ванной комнаты показывают, что при установке полотенцесушителя «Лесенки» распределение температуры будет происходить без значительных перепадов. Данные теоретического расчета соответствуют данным, полученным в результате в программе STAR CCM+ и паспортным данным приборов [10].

### Литература

1. Nielsen, P.V., Allard, F., Awbi, H.B., Davidson, L. and Schälin, A. // Computational fluid dynamics in ventilation design. REHVA Guide Book 10. RHEVA. 2007. pp. 34–48.
  2. Ferziger J.H., Peric M. Computational method for fluid dynamics. Berlin, Heidelberg. 1999. 389 p.
  3. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике //СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
  4. Денисихина Д.М. Численное исследование нового способа кондиционирования помещений // Современные проблемы науки и образования. 2014. №3. С. 15. URL: [science - education.ru/pdf /2014/3/65.pdf](http://science-education.ru/pdf/2014/3/65.pdf).
  5. Иванов В.В., Карасева Л.В., Тихомиров С.А., Пономаренко А.С. Теплообмен в пограничных слоях на излучающих поверхностях // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4188](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4188).
-

6. Лазурина М.А. Моделирование работы полотенцесушителей в программе STAR CCM+. Подбор оптимальной. конфигурации прибора // Сборник статей международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития». Уфа, 2020. С. 80-86 URL: <http://os-russia.com/SBORNIKI/KON-282-1.pdf>.

7. Куц Е.В., Кадокова С. Ю., Андреев А. А. Оптимизационное моделирование энергосберегающего проекта // Инженерный вестник Дона, 2021. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358).

8. Дацюк Т.А, Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Результаты моделирования микроклимата жилых помещений при различных типах отопительных приборов // Инженерно-строительный журнал. 2013. №6 (41). С. 12–21.

9. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС. 2002. с. 194.

10. Лазурина М.А. Анализ эффективности работы гидравлических полотенцесушителей Сборник статей обучающихся факультета инженерной экологии и городского хозяйства СПбГАСУ «Проблемы инженерной экологии и городского хозяйства». Выпуск 1 2020, СПб, 2020, С.31 – 36 URL: [spbgasu.ru/upload-files/fakulteti/fiegh.pdf](http://spbgasu.ru/upload-files/fakulteti/fiegh.pdf)

### References

1. Nielsen, P.V., Allard, F., Awbi, H.B., Davidson, L. and Schälin, A. Computational fluid dynamics in ventilation design. REHVA Guide Book 10. RHEVA. 2007. pp. 34–48.

2. Ferziger J.H., Peric M. Computational method for fluid dynamics. Berlin, Heidelberg. 1999. 389 p.

3. Denisikhina D.M. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. №3. S. 15. URL: [science-education.ru/pdf/2014/3/65.pdf](http://science-education.ru/pdf/2014/3/65.pdf).
4. Alyamovskiy A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.V. SPb.: BKhV-Peterburg, 2005. 800 p.
5. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Tikhomirov S.A., Ponomarenko A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4188/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4188/)
6. Lazurina M.A. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyye informatsionnyye tekhnologii kak osnova effektivnogo innovatsionnogo razvitiya». Ufa, 2020. pp. 80-86. URL: [os-russia.com/SBORNIKI/KON-282-1.pdf](http://os-russia.com/SBORNIKI/KON-282-1.pdf)
7. Kuts E. V., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358)
8. Datsyuk T.A, Ivlev Yu.P., Pukhkal V.A. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal 2013. №6 (41). pp. 12–21.
9. Tabunshchikov YU.A., Brodach M.M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoj e`ffektivnosti zdaniy. [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. M.: AVOK-PRESS. 2002. p. 194.
10. Lazurina M.A. Analiz effektivnosti raboty gidravlicheskikh polotentsesushiteley Sbornik statey obuchayushchikhsya fakul'teta inzhenerno-y ekologii i gorodskogo khozyaystva SPbGASU «Problemy inzhenerno-y ekologii i gorodskogo khozyaystva». Vypusk 1 2020, SPb, 2020, pp.31 – 36. URL: [spbgasu.ru/upload-files/fakulteti/fiyegh.pdf](http://spbgasu.ru/upload-files/fakulteti/fiyegh.pdf)