

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРАНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ В КАБИНЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ МАШИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Н.М. Филькин, А.М. Татаркин

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной статье рассматривается проблема конденсации влаги внутри кабины машины технологического электротранспорта. Обосновывается гипотеза на том, что данную проблему можно решить, используя принудительную вентиляцию воздуха в кабине.

Материалы и методы. В статье затрагивается тема применения программного комплекса ANSYS Fluent для оценки влияния расположения и формы воздухопроводов на процесс вентиляции внутри кабины. Рассматриваются ключевые этапы моделирования воздушного потока в данной программе.

Результаты. Основное содержание исследования составляет анализ полученных результатов моделирования воздушного потока в кабинах с различной конфигурацией впускных и выпускных патрубков. На основании анализа полученных контуров скоростей воздушных потоков делается вывод о рациональном расположении впускных и выпускных каналов.

Обсуждение и заключение. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований, которые будут направлены на создание трехмерной модели кабины с учетом полученных в ходе исследования результатов, её испытание, а также анализ примененных решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конденсация влаги, вентиляция, электротранспорт, компьютерное моделирование, ANSYS, кабина, оптимальное проектирование, рациональное расположение.

© Н.М. Филькин, А.М. Татаркин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

NUMERICAL RESEARCH OF THE MOISTURE CONDENSATION ELIMINATION IN THE CABIN OF THE UNIFIED TECHNOLOGICAL ELECTRIC TRANSPORT VEHICLE

N.M. Filkin, A.M. Tatarkin

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *This article deals with the problem of moisture condensation inside the cabin of the technological electric transport vehicle. The hypothesis of using the forced air ventilation in the cabin is substantiated, by which such problem could be solved.*

Materials and methods. *The article describes the application of the ANSYS Fluent Software Package to assess the effect of the location and shape of the ducts on the ventilation process inside the cabin. Accordingly, the key stages of air flow modeling in this program are considered.*

Results. *The main content of the research is to analyze the modeling airflow process in the cabins with a different configuration of inlet and outlet nozzles. Therefore, basing on the analysis of the obtained airflow velocity contours, the conclusion is made about the rational arrangement of the inlet and outlet channels.*

Discussion and conclusions. *The conclusion is made about the necessity of the further research that would refer to creating a three-dimensional model of the cabin. The results of the research as well as resolutions are taken into account.*

KEYWORDS: *condensation of moisture, ventilation, electric transport, computer modeling, ANSYS, cabin, optimal design, rational arrangement.*

© N.M. Filkin, A.M. Tatarkin



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе проектирования унифицированной машины технологического электротранспорта с кабиной закрытого типа возникла проблема с конденсацией влаги. Заключается данная проблема в том, что при нахождении человека внутри кабины начинает конденсироваться влага на внутренних поверхностях, и это в дальнейшем приводит к критическому ухудшению обзора с места водителя и к уменьшению срока эксплуатации транспортного средства.

Чтобы устранить данную проблему, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ проблемы, связанной с конденсацией влаги в различных областях науки и техники.
2. Выявить причины возникновения конденсации в кабине.
3. Предложить решения, позволяющие снизить интенсивность конденсации, либо вовсе устранить данное явление.

В работе [1] автор ссылается на расчеты, которые показывают, что кратность воздухообмена в помещении должна быть 2,2 из условий борьбы с влагой и 3,3 из условий борьбы с CO_2 . Стоит отметить, что условия расчета данных величин даны для зимнего периода.

Также в СП¹ и ТР² для жилых помещений, исходя из санитарно-гигиенических норм, на одного человека необходимо минимум 30 м³/ч, а для общественно-бытовых зданий полагается подавать 40 м³/ч.

Учитывая представленные выше данные, конструкцию кабины (закрытая конструкция с невысокой естественной вентиляцией и отсутствие принудительной вентиляции) и выводы, сделанные в работах [2, 3, 8, 9], причинами конденсации влаги на внутренних поверхностях кабины являются:

- повышение относительной влажности воздуха (дыхание водителя и пассажира, испарение с обуви и одежды) приводит к повышению температуры точки росы;
- разница температур воздуха внутри кабины и воздуха снаружи приводит к тому, что температура стенок и стекла кабины ниже точки росы, и начинается процесс конденсации влаги.

Проблему с повышением относительной влажности можно решить одним из следующих способов:

- установкой осушителя воздуха;
- созданием избыточной вентиляции более сухого воздуха;

- добавлением абсорбера влаги в кабину.

Температуру точки росы можно изменить следующими способами:

- понижением температуры внутри кабины, вследствие чего разность между температурами снаружи и внутри уменьшится, и конденсация влаги будет происходить при более высоком значении относительной влажности;
- повышением температуры ограждения, что также приведёт к смещению температуры точки росы.

Учитывая условия, создаваемые внутри кабины, и ограниченность в использовании приборов мощностью более 300 Вт, наиболее оптимальное решение заключается в том, чтобы установить устройство дополнительной подачи наружного воздуха.

Приведенные расчеты в работе [1] показывают, что кратность воздухообмена на одного человека из условий борьбы с влагой составляет 2,2. Но так как расчет сделан для помещения с общим объемом в 60 м³, то, следовательно, на одного человека необходимо 132 м³. На основе этих данных можно предположить, что в критической ситуации, когда в кабине будут находиться 2 человека, необходимо 264 м³ свежего воздуха в час.

Необходимой производительностью обладают вентиляторы отопителей салона отечественных автомобилей, подача в которых составляет приблизительно 360 м³/ч.

Для нахождения оптимального расположения каналов подачи и удаления воздуха применяем программный модуль ANSYS Fluent, который позволяет моделировать течения жидкостей и газов с учетом турбулентности и теплообмена. Данный модуль подходит для выполнения поставленных перед нами задач, кроме того, используя данный подход, существенно сокращаются временные и денежные затраты.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для того чтобы начать моделирование в программном продукте ANSYS, необходимо создать геометрию во встроенном модуле Geometry. Для упрощения расчетов на данном этапе было принято решение использовать упрощенные 2D модели кабины с различным

¹ СП 23-101-2004. Группа Ж24, ОКС 91.120.01. Дата введения 2004-06-01, ПРИЛОЖЕНИЕ Р (справочное).

² ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома. М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.

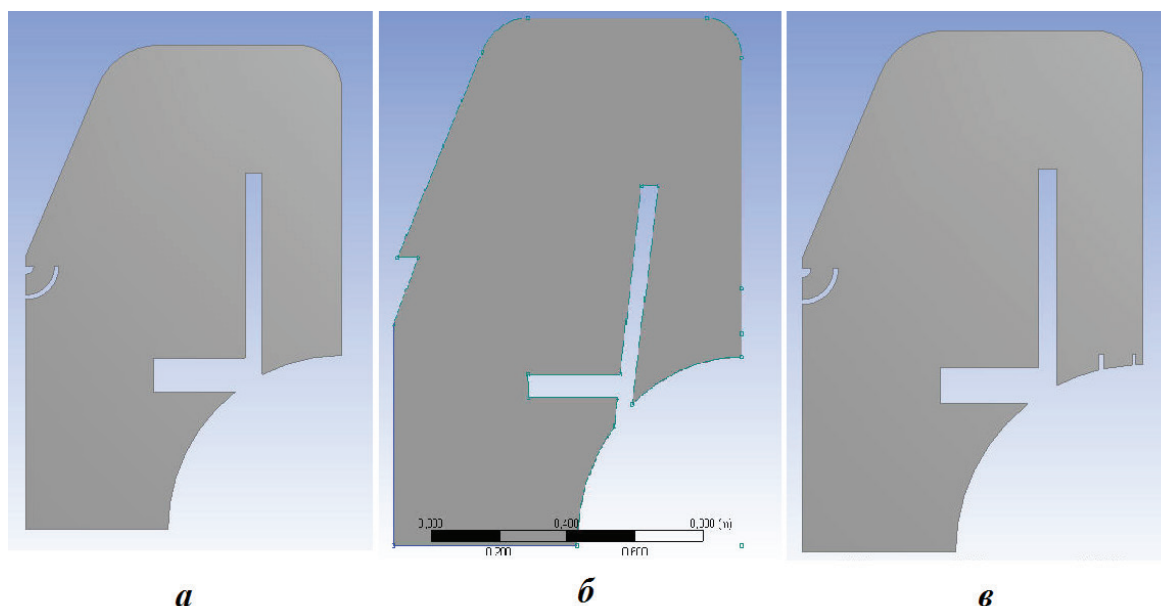


Рисунок 1 – Упрощенные 2D модели кабины закрытого типа унифицированной машины технологического электротранспорта: а – воздух подается через коленообразный канал на лобовое стекло, удаляется через отверстия в задней стенке; б – воздух подается вдоль лобового стекла, через прямой канал, а удаляется через отверстия в задней стенке; в – воздух подается через коленообразный канал на лобовое стекло, удаляется через отверстия в задней и нижней стенках

Figure 1 – Simplified 2D models of a closed-type cabin of the unified technological transport vehicle:
a – air is fed through the knee-shaped channel to the windshield, and is removed through the channel in back wall;
b – air is fed along the windshield, through a straight channel, and is removed through the channels in back wall;
c – air is fed through the knee-shaped channel to the windshield, and is removed through the channels in back and bottom walls

расположением воздушных каналов³ [7]. Данные модели представлены на рисунке 1.

После создания геометрических моделей необходимо сгенерировать расчетную сетку и задать граничные условия для воздушных каналов. Данные операции производятся во встроенном модуле MESH. На рисунке 2 изображен результат описанных выше операций.

Сгенерировав расчетную сетку, мы получили около 6 500 ячеек для каждой из моделей. В дальнейшем, проверив в программном модуле ANSYS Fluent параметры сгенерированной сетки, получили положительное значение минимальной площади ячейки и значение ортогональности ячеек в пределах 0,5. Нами были использованы рекомендации по оценке качества расчетной сетки, приведённые в работе [4]. Шкала оценки данного параметра лежит от 0 до 1. Чем ближе значение параметра к 1, тем выше точность сгенерированной сетки. На

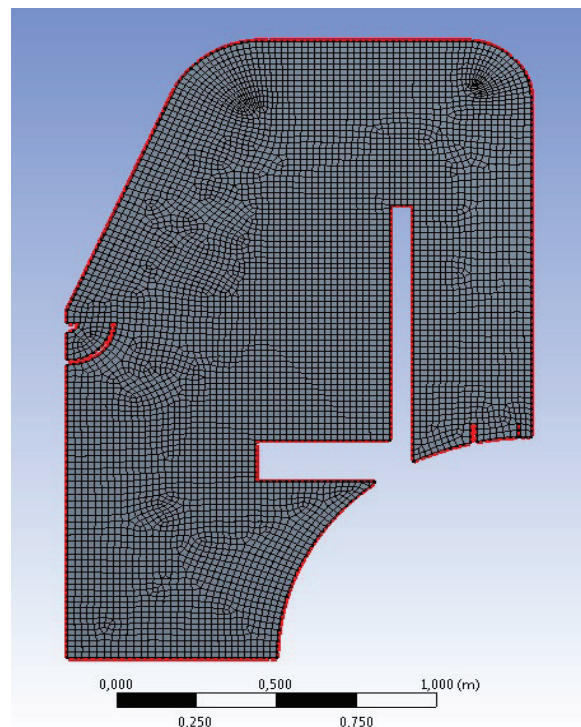


Рисунок 2 – Расчетная сетка кабины закрытого типа унифицированной машины технологического электротранспорта

Figure 2 – Calculated grid for closed-type cabin of the unified technological transport vehicle

³ Фролов М.М., Филькин Н.М., Матвеев Д.В. Анализ внутренней газодинамики системы отопления и вентиляции легкового автомобиля // Межвузовский научный сборник № 7 «Проектирование и исследование технических систем». Набережные Челны: Камский государственный политехнический институт, 2005. С. 51-59.

основании данных параметров можно сделать вывод о том, что сгенерированная сетка подходит для нашего предварительного анализа.

После анализа качества сгенерированной сетки необходимо задать параметры решателя (Solution Setup):

- во вкладке General выбираем Pressure-based type (задача будет решаться по уравнениям, основанным на давлении), Transient time (задача будет решаться с шагом времени 0,05 сек, всего в расчете 100 шагов), Velocity Formulation Absolute (значения скорости будут отображаться в абсолютной форме);

- модель турбулентности стандартная k-epsilon, так как в данной модели учтено влияние турбулентной кинетической энергии, а также ее диссипация за счет вязкости среды, более подробную информацию можно получить в работах [5, 6] и в лекциях⁴;

- в качестве газа был выбран воздух;

- в граничных условиях (зона подачи и удаления воздуха) заданы параметры подачи воздуха со скоростью 20 м/с (площадь воздуховода 0,005 м²) и свободное удаление воздуха;

- расчет осуществлялся при постоянном значении температуры (стандартные условия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении расчетов с заданными параметрами были получены следующие результаты:

1. На рисунке 3 мы видим, что воздушный поток имеет максимальную скорость в области лобового стекла и в дальнейшем направляется вдоль верхней части кабины, однако из-за расположения отвода можно увидеть завихрения, которые мешают нормальному удалению воздуха.

2. На рисунке 4 изображен воздушный поток в кабине второй конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха снизилась с 31 до 23 м/с, данное изменение можно объяснить тем, что изменилась площадь сечения подающего канала и его форма. Также можно заметить, что поток воздуха, возникающий в кабине, имеет небольшие завихрения, но в целом имеет достаточно целостный вид. Можно сделать вывод о том, что форма и расположение каналов в данной конфигурации не оказывают отрицательного влияния на вентиляцию внутри кабины.

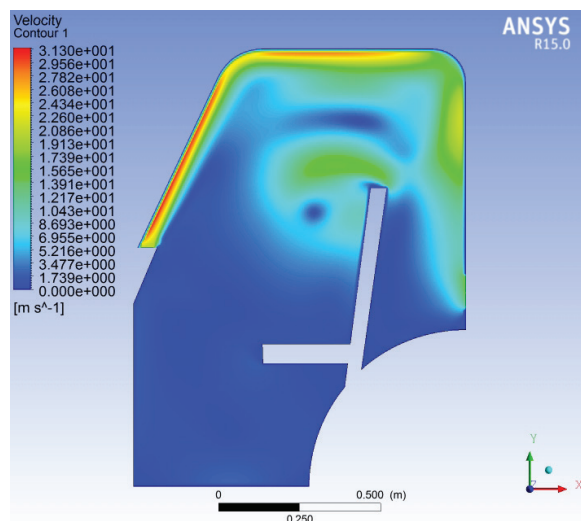


Рисунок 3 – Контур скорости воздушного потока первой конфигурации кабины

Figure 3 – Airflow velocity contour in the cabin of the first configuration

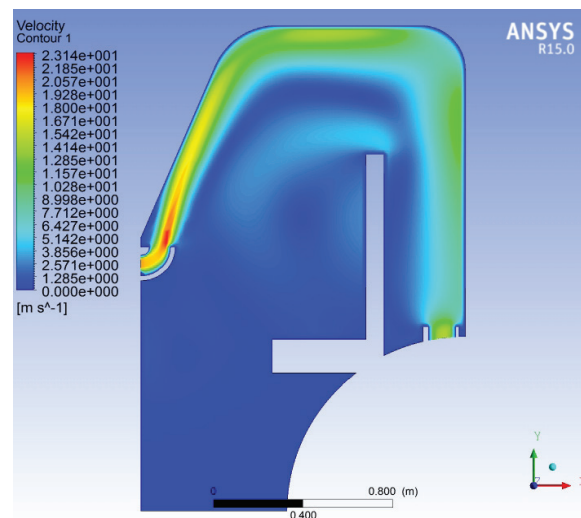


Рисунок 4 – Контур скорости воздушного потока второй конфигурации

Figure 4 – Airflow velocity contour in the cabin of the second configuration

3. На рисунке 5 изображен воздушный поток в кабине третьей конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха увеличилась по сравнению с предыдущим результатом и составляет приблизительно 28 м/с. Данное изменение объясняется тем, что изменилась площадь сечения отводного канала и его расположение. Также можно заметить, что поток воздуха, возникающий в кабине, имеет много сильных завихрений. Можно сделать вывод о том, что форма и расположение каналов в данной конфигурации оказывают отрицательное влияние на воздухообмен внутри кабины.

⁴ Фрик, П.Г. Турбулентность: Модели и подходы// Курс лекций. – Часть I. – Пермь: ПГТУ, 1998. 108 с

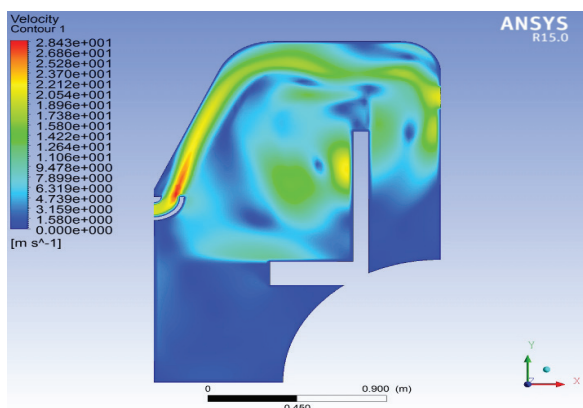


Рисунок 5 – Контур скорости воздушного потока в кабине третьей конфигурации

Figure 5 – Airflow velocity contour in the cabin of the third configuration

4. На рисунке 6 изображен воздушный поток в кабине четвертой конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха существенно не изменилась, из чего делается вывод о том, что наличие второго отвода воздуха не оказывает влияние на данный параметр. Поток воздуха, возникающий в кабине, существенно изменился и в целом имеет достаточно целостный вид. Так как результаты, полученные при моделировании воздушного потока в кабине второй конфигурации, схожи, то можно сделать вывод о том, что наличие дополнительного отводного канала на задней стенке является малоэффективным.

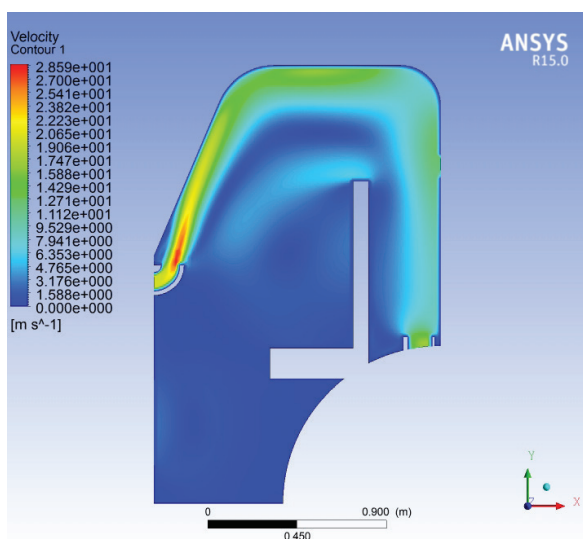


Рисунок 6 – Контур скорости воздушного потока в кабине четвертой конфигурации

Figure 6 – Airflow velocity contour in the cabin of the fourth configuration

5. На рисунке 7 изображен воздушный поток в кабине пятой конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха существенно не изменилась, из чего делается вывод о том, что при расположении отвода воздуха ниже линии подвода воздуха оказывает более существенное влияние на данный параметр, чем наличие двух отводов на разных уровнях. Полученный поток воздуха имеет достаточно целостный вид. Так как результаты, полученные при моделировании воздушного потока в кабине второй и четвертой конфигурации, имеют закономерности, то можно сделать вывод о положительном влиянии на воздухообмен расположения канала отвода воздуха на боковой стенке ниже уровня канала подвода воздуха.

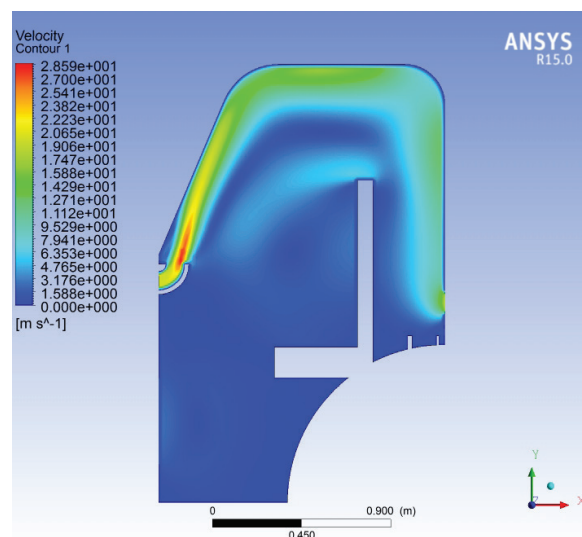


Рисунок 7 – Контур скорости воздушного потока в кабине пятой конфигурации

Figure 7 – Airflow velocity contour in the cabin of the fifth configuration

6. На рисунках 8 и 9 изображены контуры скорости воздушных потоков в кабине шестой и седьмой конфигураций. Основным отличием от предыдущих конфигураций является изменение формы впускного канала. Добавлен отвод воздуха к полу кабины. Исходя из полученных контуров скоростей можно увидеть, что максимальная скорость воздуха снизилась, так как увеличилась площадь впускного канала. Также можно заметить значительное снижение интенсивности и площади обдува крыши кабины, это произошло за счет отвода воздушного потока в нижнюю часть кабины. Снижение интенсивности и площади обдува областей лобового стекла, крыши и задней

стенки отрицательно повлияет на удаление влаги с данных поверхностей.

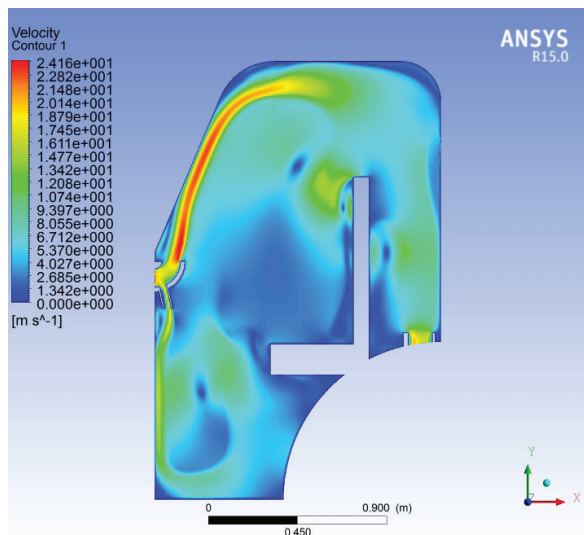


Рисунок 8 – Контур скорости воздушного потока в кабине шестой конфигурации

Figure 8 – Airflow velocity contour in the cabin of the sixth configuration

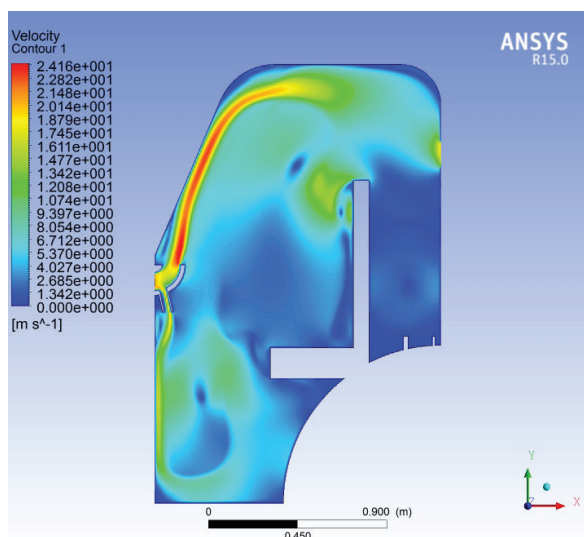


Рисунок 9 – Контур скорости воздушного потока в кабине седьмой конфигурации

Figure 9 – Airflow velocity contour in the cabin of the seventh configuration

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных результатов моделирования упрощенной 2D модели кабины закрытого типа и проведенного анализа оптимальной конфигурацией для дальнейших исследований является пятая конфигурация кабины. Так как высокая интенсивность обду-

ва областей лобового стекла крыши и задней стенки, а также равномерность полученного потока, с наибольшей эффективностью позволит добиться снижения интенсивности конденсации или вовсе устранить данное явление.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание трехмерной модели кабины, с учетом полученных в данной работе результатов и рекомендаций, её расчетные исследования с целью реализации разработанной конструкции в опытном образце машины.

Статья профинансирована из средств субсидии из федерального бюджета с целью реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемого в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013 – 2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0132.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ливчак, И.Ф., Наумов, А.Л. Вентиляция многоэтажных зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 134 с.
2. Измерение скорости испарения с локальной поверхности слоя жидкости под действием потока газа / Люлин Ю.В., Феоктистов Д.В., Афанасьев И.А., Чачило Е.С. и др. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. № 14. С. 1-7.
3. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convection in horizontal liquid layer under shear-stress gas flow// Int. J. Heat Mass Transfer. 2014. Vol. 70. Pp. 599-609.
4. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Applications of ANSYS// Person. 2008. P. 608.
5. Пуанкаре, А. Теория вихрей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 160 с.

6. Sen, A., Srivastava M. Regression Analysis – Theory, Methods, and Applications // Springer-Verlag, Berlin, (4th printing), 2011. P. 281.

7. Матвеев Д.В., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Анализ трехмерного течения воздуха в системе отопления и вентиляции легкового автомобиля численными методами // Вестник Уральского межрегионального отделения российской Академии транспорта № 5. Курган: КГУ, 2005. С. 34-36.

8. Baeder D., Indinger T., Adams N., Unterlechner P. Aerodynamic Investigation of Vehicle Cooling-Drag // SAE Technical Paper 2012-01-0170. 2012.

9. D'Hondt M. Theoretical, Experimental and Numerical Study of the Cooling Airflow and its Effects on the Aerodynamics of Road Vehicles // Engineering Sciences. — Universities Orleans, 2010.

REFERENCES

1. Livchak, I.F., Naumov, A.L. Ventilyaciya mnogoetajnich zdaniy [Ventilation of multi-storey buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2005. 134 p. (In Russian)

2. Lyulin Y.V., Feocktistov D.V., Afanasjev I.A., Chachilo E.S. and others. Izmerenie skorosti ispareniya s lokalnoy poverchnosti sloya jidcosti pod deistviem potoka gaza [The measurement of evaporation rate from the local surface of the layer under the action of gas-flow] Letters in GTF, 2015, vol. 41, no. 14, Pp. 1-7. (In Russian)

3. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convention in horizontal liquid layer under shear-strees gas flow. Int. J. Heat Mass Transfer, 2014, vol. 70, pp. 599-609.

4. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Applications of ANSYS. Person, 2008, 608 p.

5. Puankare A. Teoria vichrei [Theory of vortices]. Izhevsk, NIC «Regularnaya i chaotisheskaya dinamika», 2000, 160 p. (In Russian)

6. Sen, A. Regression Analysis – Theory, Methods, and Applications. Berlin, Springer-Verlag, 2011. 281 p.

7. Matveev D.V., Umnyashkin V.A., Filkin N.M. Analiz trekhmernogo techeniya vozduha v sisteme otopeniya i ventilyacii legkovogo avtomobilya chislennymi metodami [Analysis of the three-dimensional flow of air in the system of heating and ventilation of the passenger car by numerical methods]. Kurgan, Vestnik Ural'skogo mezhregional'nogo otdeleniya rossijskoj Akademii transporta, no. 5, 2005, pp. 34-36. (In Russian)

8. Baeder D., Indinger T., Adams N., Unterlechner P. Aerodynamic Investigation of Vehicle Cooling-Drag. SAE Technical Paper 2012-01-0170, 2012.

9. D'Hondt M. Theoretical, Experimental and Numerical Study of the Cooling Airflow and its Effects on the Aerodynamics of Road Vehicles. Universities Orleans, Engineering Sciences, 2010.

Поступила 22.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Филькин Николай Михайлович – доктор технических наук, проф. кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова», институт «Современные технологии машиностроения, автомобилестроения и металлургии» в г. Ижевске (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, e-mail: fnm@istu.ru).

Татаркин Андрей Михайлович – аспирант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова», институт «Современные технологии машиностроения, автомобилестроения и металлургии» в г. Ижевске (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, e-mail: alfaprot@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Filkin Nikolai Mikchailovich – doctor of technical science, professor of the Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Institute of Modern Technologies in Mechanical and Automotive Engineering and Metallurgy in Izhevsk ((426069, Izhevsk, 7, Studencheskaya St., e-mail: fnm@istu.ru).

Tatarkin Andrei Mikhailovich – Post-graduate Student of the Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Institute of Modern Technologies in Mechanical and Automotive Engineering and Metallurgy in Izhevsk (426069, Izhevsk, 7, Studencheskaya St., e-mail: alfaprot@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Филькин Н.М. Постановка задачи, участие в анализе результатов расчета, написание вывода, общее руководство работой (вклад 50%).

Татаркин А.М. Разработка геометрических моделей, разработка методики исследования, проведение расчетных исследований, анализ результатов расчета, обоснование оптимальных конструктивных решений (вклад 50%).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Filkin N. M. Statement of the problem, participation in the analysis of calculation results, writing of the conclusion, general management of the work (50% contribution).

Tatarkin A.M. Development of geometric models, development of research methods, calculation research, analysis of calculation results, substantiation of optimal design solutions (50% contribution).