

МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-5-16

УДК 697.921

В. А. ДАЛИМАЕВ

М. Э. ПОДЫМАКО

М. В. КОВАЛЕНКО

ОАО «Могилевлифтмаш» (Могилев, Беларусь)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА ПАССАЖИРСКОГО И ПОИСК РЕЗЕРВОВ ДЛЯ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

Аннотация

Проведен анализ нормативных документов и сформированы критерии для оценки уровня качества вентилирования в кабине лифта. Прибором ТКА-ПКМ 52 измерены численные значения скорости воздуха внутри кабины при включенном вентиляторе на вдув и выдув. Также определено численное значение скорости воздуха в шахте лифта (тяга в шахте). Создана и подготовлена расчетная модель. Выделены граничные условия и проведены вычислительные эксперименты для проверки общепринятых подходов расчета аэродинамики применительно к кабине лифта. Проведен расчет методом конечных элементов. Опираясь на результаты эксперимента, проведена валидация расчетной модели. По результатам расчета сделаны выводы о применимости подходов, дана оценка уровню качества вентилирования в кабине лифта производства ОАО «Могилевлифтмаш».

Ключевые слова:

комфорт, лифт, метод конечных элементов, аэродинамика, воздухообмен, вентиляция.

Для цитирования:

Далимаев, В. А. Расчетно-экспериментальный подход к оценке вентилирования кабины лифта пассажирского и поиск резервов для его улучшения / В. А. Далимаев, М. Э. Подымако, М. В. Коваленко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 5–16.

Введение

Лифт – это совокупность взаимосвязанных систем и конструкций, главной целью которого является безопасная перевозка пассажиров. Производители лифтов заботятся не только о безопасности своих лифтов, но и об их дизайне и комфорте. Неотъемлемой составляющей комфорта является воздухораспределение в кабине лифта. Существует ряд стандартов, которые регламентируют требования к жилым помещениям, как наиболее близким к лифтовой тематике. Основными контролируруемыми парамет-

рами в ГОСТ Р ИСО 7730–2009 [1], СТБ ГОСТ Р 50993–2003 [2], ГОСТ 30494–2011 [3] являются расход воздуха, его температура и скорость движения. Большую опасность для человека представляют собой застойные массы воздуха – аэроастазы.

На сегодняшний день перед нами стоит *цель* по созданию расчетного подхода для анализа микроклимата кабины лифта, позволяющего на стадии проектирования спрогнозировать ее поведение в эксплуатации.

Для достижения поставленных целей необходимо последовательно ре-

шить следующие задачи:

- ввиду отсутствия регламентирующих стандартов по комфорту в кабине лифта, на основании общедоступных источников сформировать критерии качества вентилирования;
- определить численные значения скорости воздуха внутри кабины при включенном вентиляторе на вдув и на выдув по точкам;
- определить численные значения скорости воздуха в шахте лифта для оценки его влияния на скорость потоков воздуха в кабине;
- анализировать и выбрать подход для расчета газодинамики, исходя из специфики и потребностей работы;
- создать граничные условия, опираясь на характеристики вентилятора, и рассчитать модель лифта;
- опираясь на результаты измерений скорости воздуха в реальной кабине и в шахте, провести валидацию расчетной модели;
- выполнить расчет и обработать результаты на основании выделенных критериев для лифта ОАО «Могилев-лифтмаш».

Основная часть

Формирование критериев оценки комфорта в кабине лифта.

Микроклимат помещения — это комплекс метеорологических условий в помещении, таких как температура, относительная влажность, воздухообмен, скорость движения воздуха, содержание в воздухе твердых частиц, наличие запахов и др. [3]. Для того чтобы судить об уровне качества микроклимата в кабине лифта, необходимо выделить основные критерии комфортности. ГОСТ 33984.1 [15] говорит о том, что в кабине должна быть предусмотрена вентиляция воздуха, обеспеченная конструктивными зазорами и отверстиями. Площадь вентиляционных отверстий и зазоров должна составлять не менее чем по 1 % полезной площади пола кабины, а также дополни-

тельно можно учитывать площадь зазоров, имеющихся вокруг дверей кабины. Однако в ГОСТ 33984.1 и в других нормативных документах, касающихся лифтов [13–15], нет требований для оценки микроклимата в кабине. В связи с этим критерии для оценки будем формировать, пользуясь стандартами из смежной области строительства и техники.

Основными параметрами для определения комфорта, согласно стандартам для помещений различных типов [1, 3], а также микроклимата в кабине автотранспортных средств [2], являются: температура воздуха, °С; подвижность / средняя скорость движения воздуха, м/с; относительная влажность, %; расход воздуха / приток свежего воздуха, м³/ч.

Проведем анализ параметров применительно к лифтовой отрасли. Согласно ГОСТ 22011–95 диапазон рабочих температур для лифтов, установленных в жилых зданиях, зданиях общественных и промышленных предприятий, а также больничных лифтов, составляет от плюс 40 °С до плюс 1 °С. Верхнее значение относительной влажности воздуха при температуре плюс 25 °С равно 80 % [5]. Температура и влажность в шахте, а соответственно, и в кабине лифта является постоянной величиной. Изменение этих показателей не представляется возможным по экономическим и техническим причинам, а в связи с небольшим средним временем нахождения человека в кабине лифта теряет свою целесообразность.

Более важными для анализа комфорта кабины лифта будут скорость движения воздуха и расход воздуха. Известно, что при снижении подвижности (менее 0,2 м/с) поступающий в помещение воздух не в состоянии вынести вредные выделения (газы, микробы, пыль), а при высокой подвижности воздуха развивается ряд простудных заболеваний [4]. Проанализировав стандарты [1, 3, 16] по интересующим критериям, а также другие источники [8–12],

была составлена сводная таблица с требованиями к скорости (табл. 1). Также важным параметром будет минимиза-

ция застойных зон (подвижностью воздуха меньше 0,1 м/с).

Табл. 1. Средняя скорость движения воздуха, регламентируемая стандартами

Средняя скорость движения воздуха	Оптимальная	Не более
	0,2 м/с	0,3 м/с

Оценка качества комфорта будет осуществляться путем усреднения значений скорости воздуха в области головы человека. Такое решение принято исходя из того, что органы дыхания и лицо человека играют основную роль в ощущении комфорта [17].

Согласно ГОСТ 30494–2011 [3], в зависимости от эффективности системы воздухораспределения, необходимый расход наружного воздуха L , м³/ч, в системе вентиляции следует определять по формуле

$$L = \eta \cdot L_{\delta}, \quad (1)$$

где η – коэффициент эффективности системы воздухораспределения (системы естественной вентиляции с периодическим проветриванием $\eta = 1$ [3]); L_{δ} – расчетное минимальное количество наружного воздуха (согласно приложению к СП 60.13330.2012 – 40 м³/ч на человека для помещений с естественным проветриванием [6]).

Максимальное количество людей, одновременно находящихся в кабине лифта грузоподъемностью 1000 кг, – 11 человек. Для кабины данной грузоподъемности по формуле (1) получим расход воздуха 440 м³/ч. Среднее время пребывания человека в кабине лифта составляет 100 с [7].

Определение численного значения скорости воздуха в кабине.

Измерение скорости воздушных масс в кабине проводилось по девяти точкам (рис. 1). Перфорация на кабине, через которую происходит вход-выход

воздуха, присутствует сверху (выше плафона) и в порталных стойках с двух сторон.

На рис. 1 изображено расположение точек относительно кабины. Точки 6–9 расположены рядом с плафоном (потолком), 3–5 – в объеме кабины, 1–2 – рядом с отверстиями в порталных стойках. Получение валидной расчетной модели позволит анализировать изменения и оценивать в различных точках.

Измерения скорости воздуха проводились прибором комбинированным ТКА-ПКМ 52 при полностью закрытых дверях.

Зная характеристику вентилятора, а также имея 3D-модель, был проведен ряд газодинамических расчетов. Показания по результатам моделирования были сняты по тем же точкам (см. рис. 1).

Сравнение результатов измерений на реальной кабине и моделирования представлено на рис. 2.

Сравнив скорости воздуха, измеренные по точкам (в натурной кабине и модели), можно сделать вывод о том, что результаты достаточно близки (от 2,5 % до 8 % по большинству точек, точки 3–4–5 имеют низкие фактические значения скорости воздуха, за пределами чувствительности прибора измерений) для того, чтобы их использовать в дальнейшей работе. Считаем модель валидированной.

Следующим этапом будет сравнение скоростей воздуха в кабине от нагнетающего и высасывающего вентиляторов по результатам расчета. Сравнение результатов представлено на рис. 3.

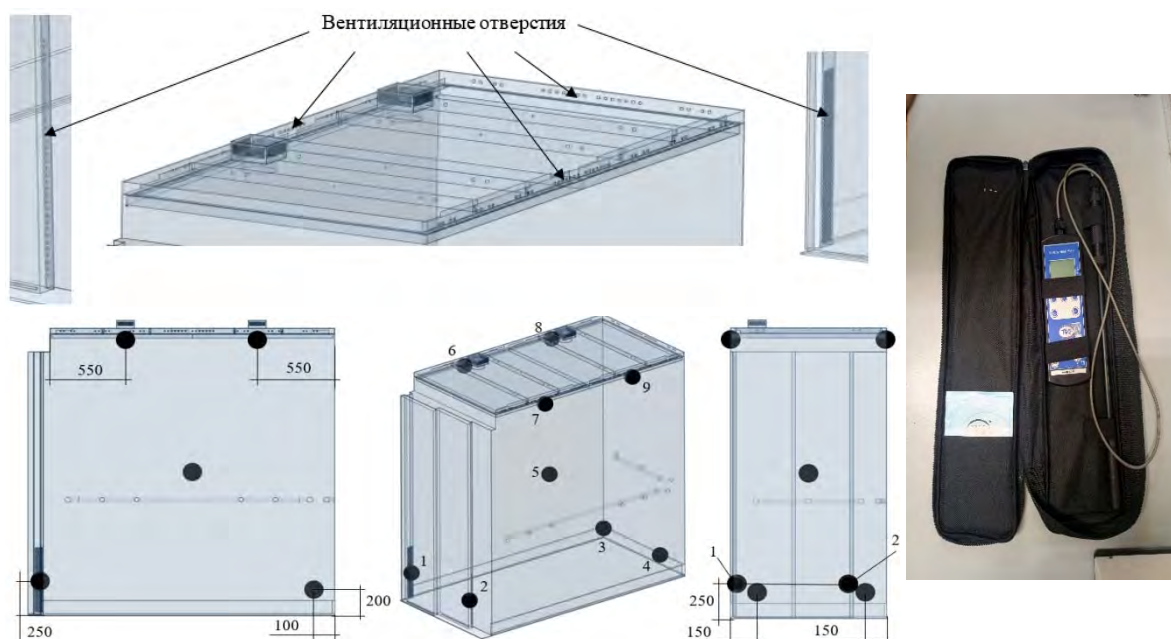


Рис. 1. Расположение точек измерения, измерительный прибор ТКА-ПКМ 52 (справа)

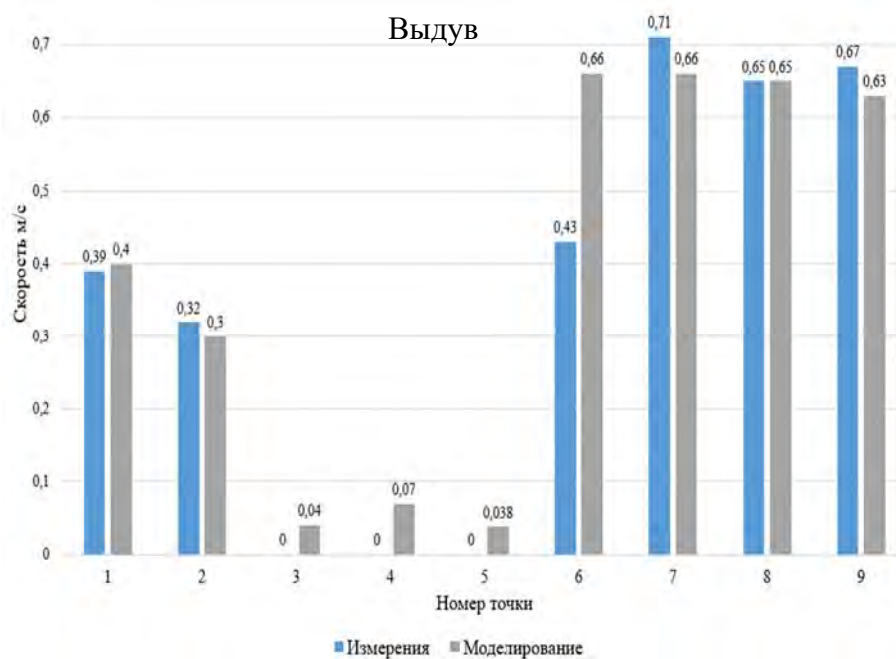


Рис. 2. Сравнение результатов натурных измерений и результатов компьютерного моделирования (на примере выдува из кабины)

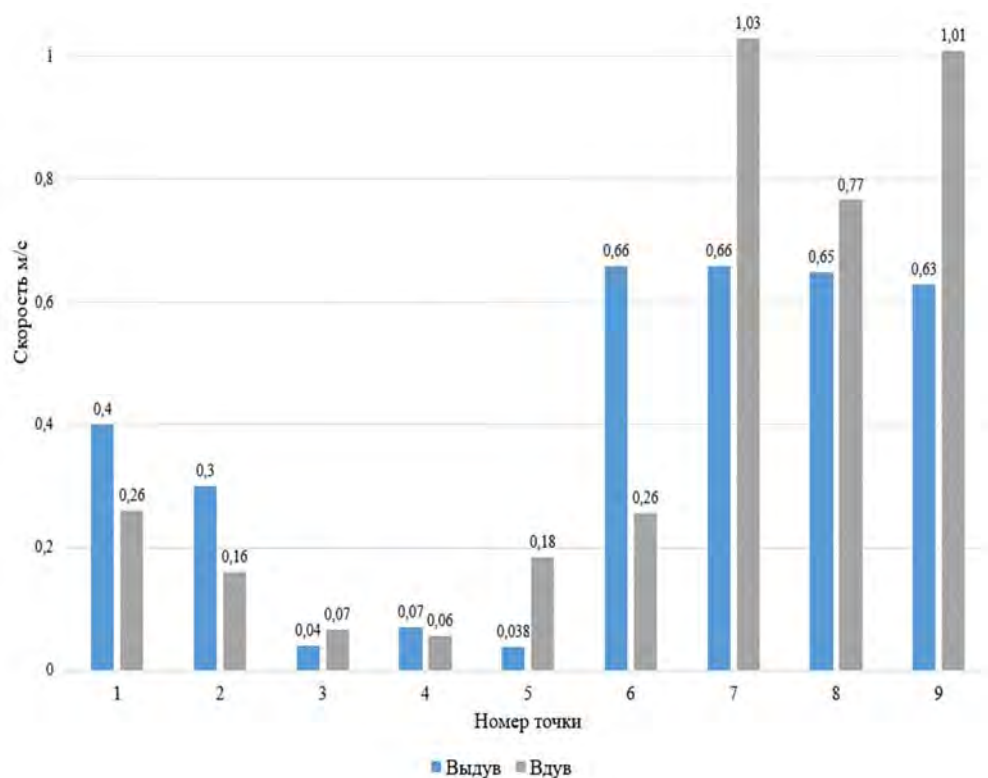


Рис. 3. Сравнение расположения вентиляторов по результатам моделирования на выдуть и вдуть по точкам

По результатам моделирования вдува и выдува нельзя сделать однозначные выводы. На уровне ощущений был сделан вывод, что в кабине с вентиляторами нагнетания чувствовалось движение воздуха в области головы. А с вентилятором на выдуть из кабины чувствовалось движение на уровне ног, zabez-

гая вперед, чувственные ощущения были подтверждены расчетами (рис. 5).

Для того чтобы оценить скорость движения воздуха в заполненной кабине, в начальные условия при моделировании были добавлены 11 манекенов, которые полностью заполнили кабину (рис. 4).

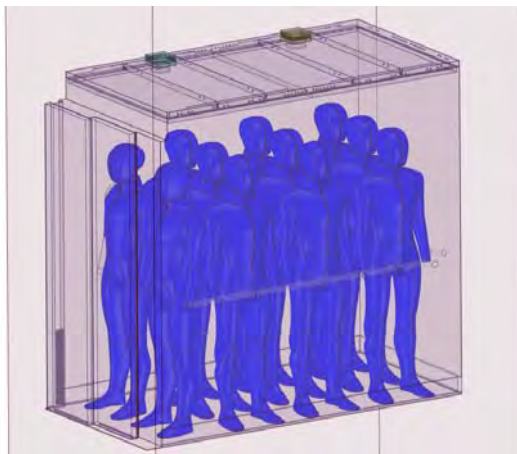


Рис. 4. Расчетная геометрия

Картины распространения скоростных потоков в кабине лифта по результатам моделирования представлены на рис. 5 и 6.

На рис. 7 наглядно изображены траектории движения воздуха для визуальной оценки протяженности движения воздуха от «входа» к «выходу».

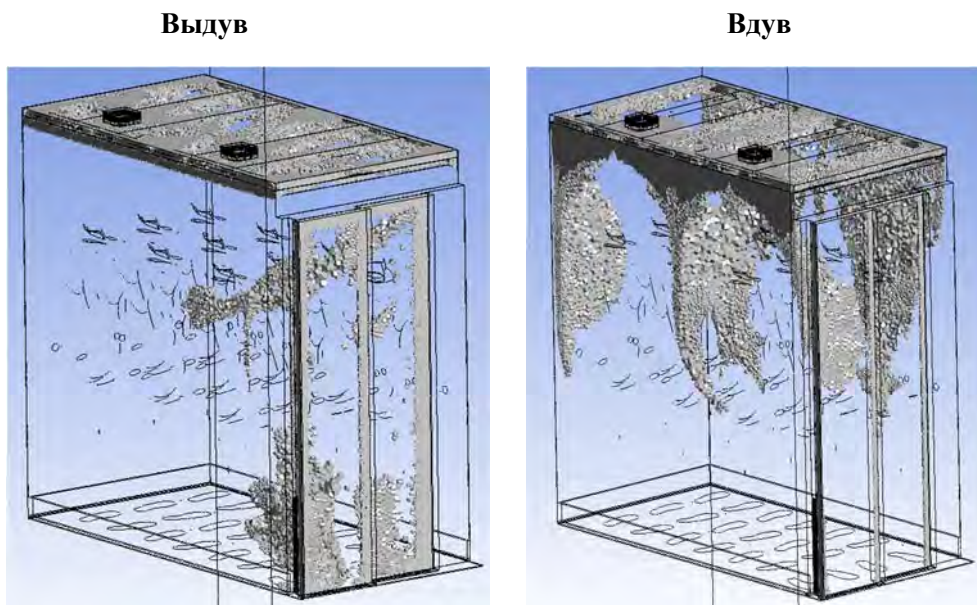


Рис. 5. Сравнение расположения вентиляторов по результатам моделирования на выдув и вдув с манекенами, скорость составляет от 0,2 до 0,3 м/с

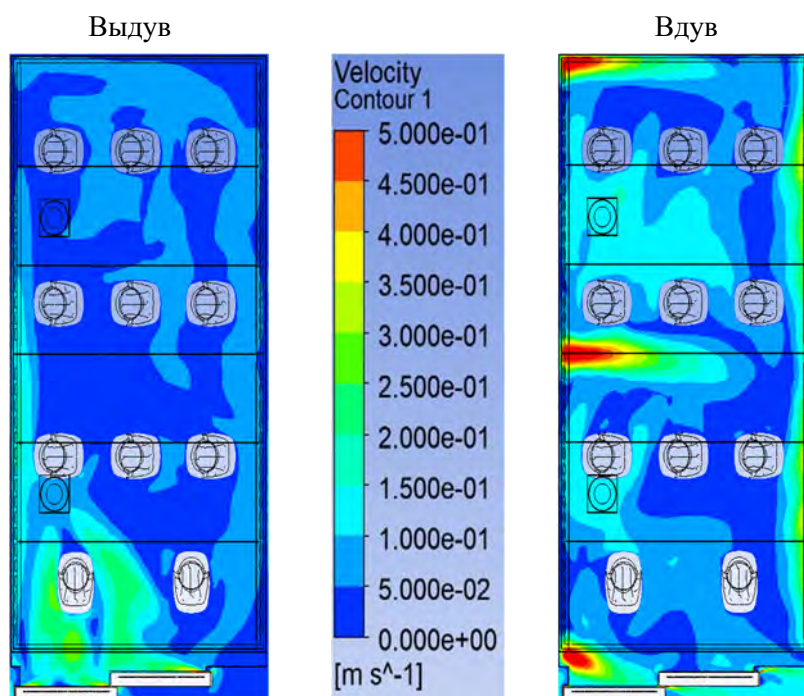


Рис. 6. Сравнение расположения вентиляторов по результатам моделирования. Плоскость на уровне головы (1,75 м)

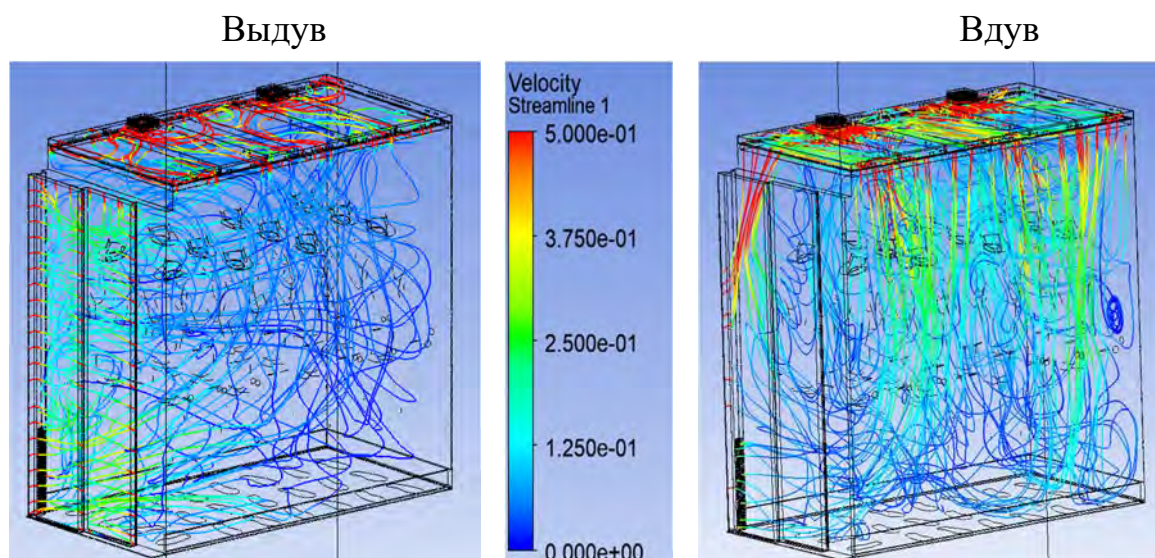


Рис. 7. Сравнение траектории движения потоков в кабине

Трасса между входом и выходом при вытягивании воздуха из кабины имеет большую протяженность, т. е. будет медленнее выносить воздух из кабины и менее интенсивно вентилировать за единицу времени. При этом скорость движения воздуха будет более равномерна, чем при вдувании, но иметь меньшие численные значения.

Также необходимо было выяснить влияние тяги в шахте лифта на внутренние потоки воздуха при вентиляторах, направленных на вдув и выдув.

Для этого была измерена тяга в шахте прибором ТКА-ПКМ 52.

Результаты измерений тяги в шахте административного здания «Могилев-лифтмаш» представлены на рис. 8. Граничные условия были рассчитаны (по сечению нетто шахты) и заданы для получения скоростей в модели, равных скоростям в точках измерений. Тяга в шахте была принята 0,2 м/с на расстоянии, соответствующем измерениям. Результаты представлены на рис. 9–12.

По результатам можно сделать вывод о том, что тяга в шахте вносит незначительный вклад в скорости потоков внутри кабины.

Выводы

Проведена работа по подбору и обработке доступной информации, в результате которой сформированы критерии комфорта в кабине лифта. По результатам эксперимента на реальной кабине лифта определены численные значения скорости воздуха внутри кабины при включенных вентиляторах «на вдув» и «на выдув». Предложена математическая модель, сформированная методом конечных элементов. При использовании предложенной модели приняты определенные упрощения, которые не вносят существенных искажений в полученные результаты. По результатам проведенных экспериментальных исследований проведена валидация предложенной расчетной модели.

Расхождение результатов моделирования и экспериментов варьируется от 2,5 % до 8 %, что подтверждает адекватность предложенной математической модели.

Определены численные показатели тяги в шахте лифта. По результатам измерений построена зависимость скорости тяги от этажности. Определено,

что тяга в шахте не вносит серьезного влияния на картину распределения ско-

рости потоков внутри кабины.

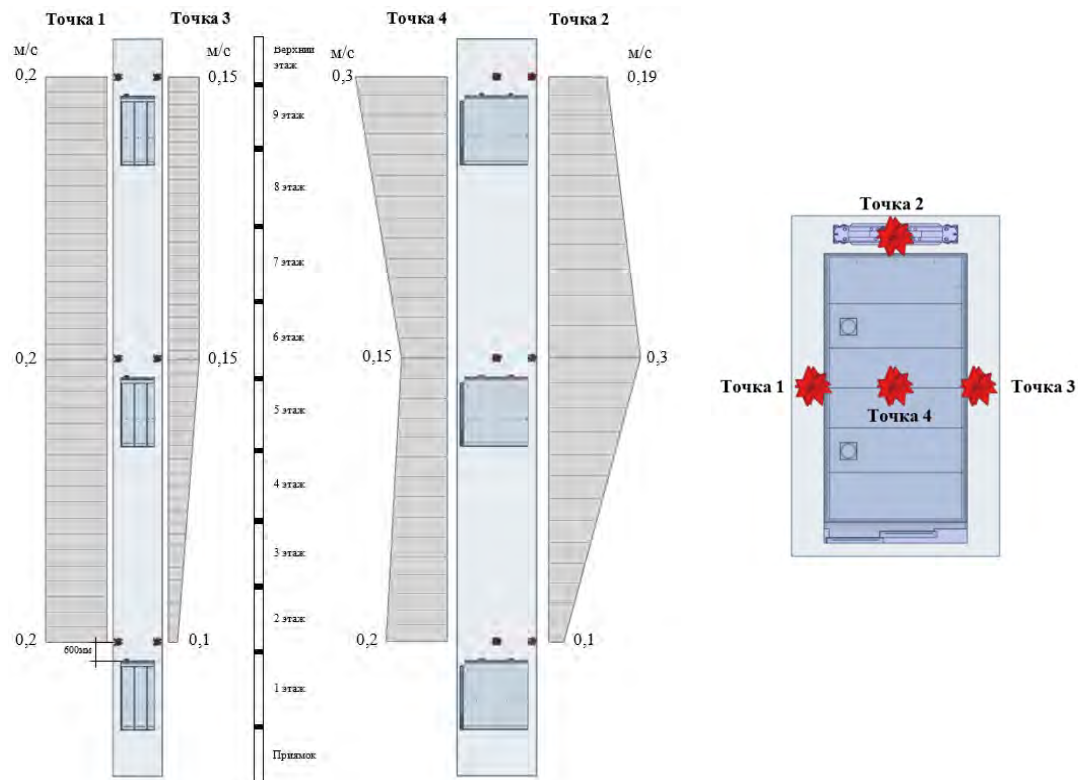


Рис. 8. Измерение тяги в шахте административного здания «Могилевлифтмаш»

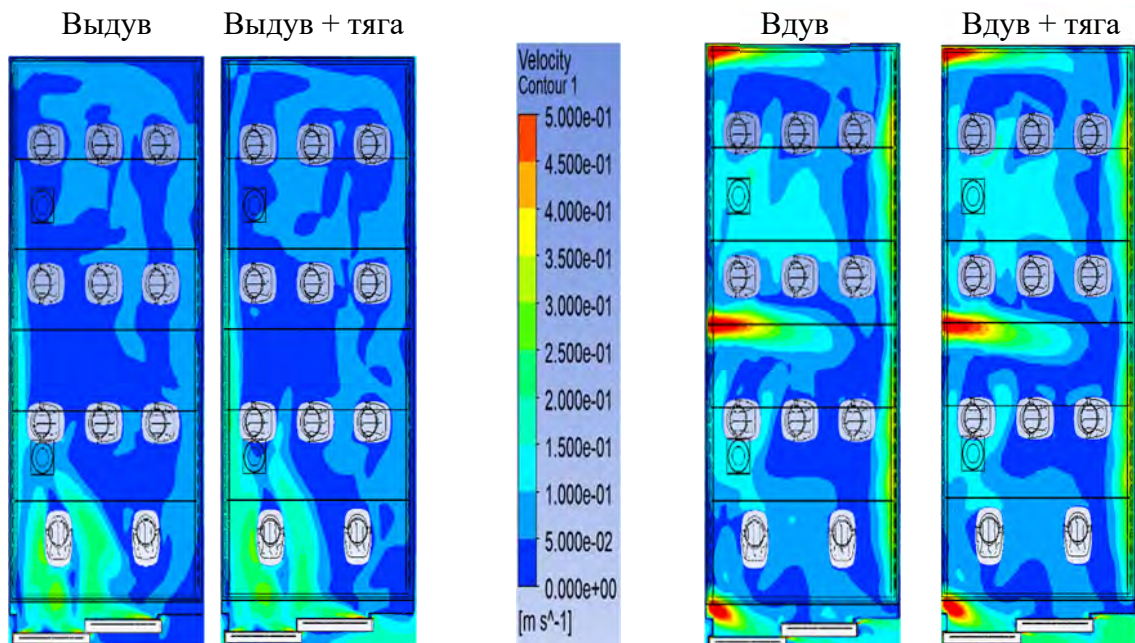


Рис. 9. Сравнение расположения вентиляторов по результатам моделирования. Плоскость на уровне головы (1,75 м)

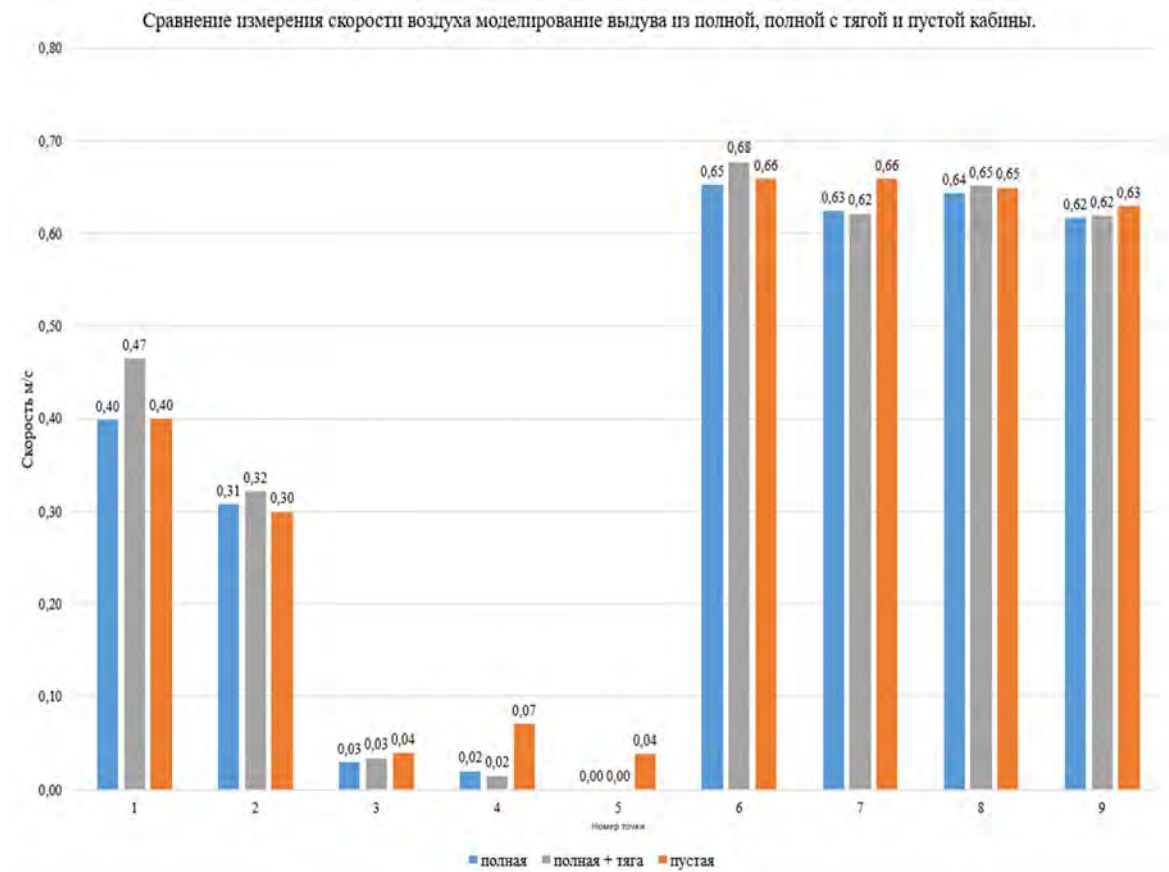


Рис. 10. Сравнение результатов моделирования выдува из кабины

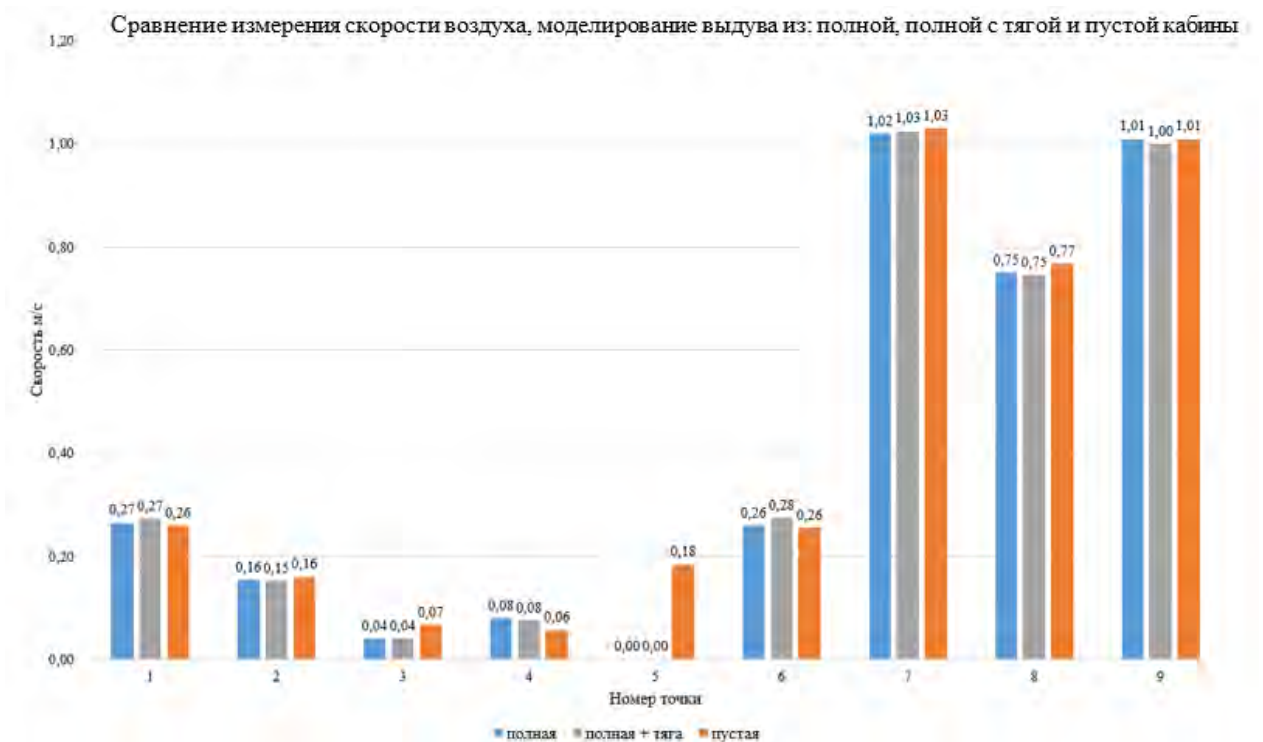


Рис. 11. Сравнение результатов моделирования выдува из кабины

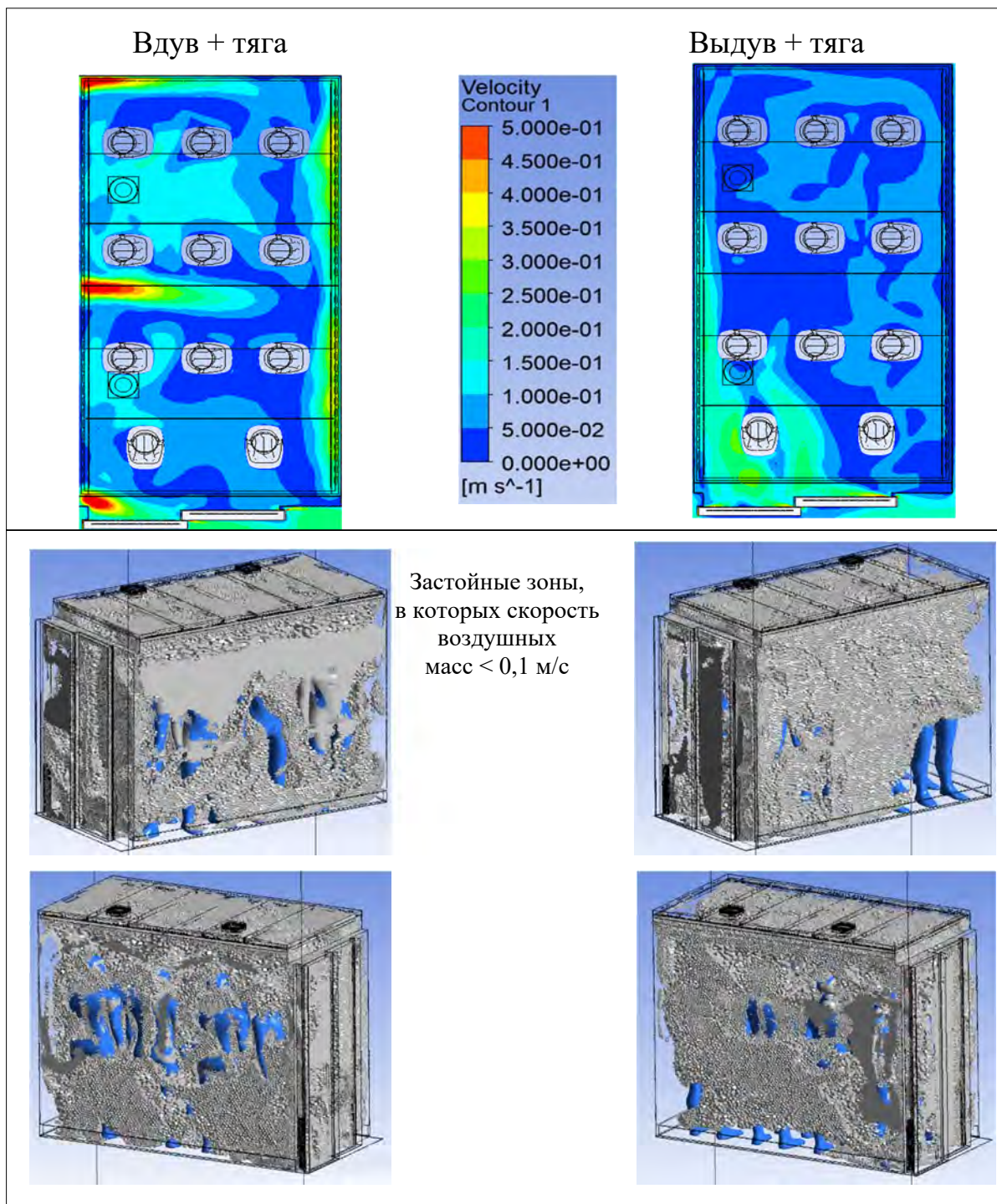


Рис. 12. Сравнение установки вентилятора на вдуг и выдуг

Проведен ряд вычислительных и реальных экспериментов по смене направления движения воздушного потока вентилятора. По результатам моделирования можно сделать вывод, что конфигурация с расположением венти-

ляторов на вдуг в кабину эффективнее, чем на выдуг. На рис. 12 представлена картина распределения скоростей воздуха по кабине, из которой видно, что с вентиляторами на вдуг областей со скоростью движения воздуха от 0,2 до 0,3 м/с

больше, чем на выдув.

При расположении вентиляторов на вдув в кабину существует вероятность попадания пыли и мусора на поликарбонат плафона. Этот вопрос необходимо проработать в дальнейшем. Также в кабине остаются застойные зоны воздуха, избавиться от которых не позволяет переворот вентилятора. При необходимости и целесообразности возможно предусмотреть систему воздухоподводов/отводов или другую, которая позволит распределить поток более равномерно.

Текущие исследования проведены для кабины лифта в статическом режиме. В дальнейших публикациях планируется развитие данного направления исследований в динамическом режиме (с учетом аэродинамического воздействия потока воздуха в шахте лифта при движении кабины). На данный момент проводятся исследования с использованием математического моделирования газодинамических процессов для оценки влияния скорости движения кабины на поведение потоков воздушных масс внутри кабины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эргономика термальной среды. Аналитические определения и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта: ГОСТ Р ИСО 7730–2009. – Введ. 01.12.2010. – М. : Стандартинформ, 2010. – 38 с.
2. Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования : СТБ ГОСТ Р 50993–2003. – Введ. 28.04.2003. – Минск: БелГИСС, 2003. – 5 с.
3. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : ГОСТ 30494–2011. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – 11 с.
4. Методические рекомендации по санитарно-гигиенической оценке птицеводческого предприятия / НАН Беларуси [и др.] : сост. Б. Я. Бирман, Д. Г. Готовский, Н. П. Похиленко [и др.]. – Минск, 2006. – 17 с.
5. Лифты пассажирские и грузовые: ГОСТ 22011–95. – Введ. 12.10.1995. – Минск: МГС, 1995. – 24 с.
6. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СП 60.13330.2012. – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 75 с.
7. URL: <https://super-reklama.by/reklama-v-liftah> (дата обращения: 21.05.2024).
8. Гигиенический норматив «Требования к микроклимату производственных помещений»: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 12 дек. 2012 г. № 194.
9. URL: <https://www.eksis.ru/materials/articles/skorost-dvizheniya-vozdukha-vazhneyshiy-parametr-mikroklimata-zhivotnovodcheskikh-pomeshcheniy.php> 02.04.2019 (дата обращения: 07.02.2023).
10. URL: <http://world2car.ru/index.php/tekhnika-bezopasnosti-pri-ekspluatatsii-transporta/661-obespechenie-mikroklimata-v-kabine-avtomobilya> (дата обращения: 07.02.2023).
11. URL: <https://ru-ecology.info/pics/200765702650009> (дата обращения: 07.02.2023).
12. URL: <https://www.project-house.by/micro-climat> (дата обращения: 07.02.2023).
13. Лифты, эскалаторы, пассажирские конвейеры и подъемные платформы для инвалидов: ГОСТ Р 52624–2006. – Введ. 27.12.2006. – М. : Стандартинформ, 2006. – 21 с.
14. Лифты: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: «Механизация и автоматизация строительства» и «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / Под общ. ред. Д. П. Волкова. – М. : АСВ, 2010. – 576 с.
15. Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. Лифты для транспортирования людей или людей и грузов: ГОСТ 33984.1–2016. – М. : Стандартинформ, 2019. – 89 с.
16. Справочник проектировщика: в 3 ч. Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1992. – 321 с.
17. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety / ed.: J. M. Stellman. – Geneva: International Labour Office, 1998.

Статья сдана в редакцию 13 ноября 2024 года

Контакты:

bn_ntc@liftmach.by (Далимаев Владимир Александрович);

bn_ntc@liftmach.by (Подымако Максим Эдуардович);

onp@liftmach.by (Коваленко Максим Васильевич).

V. A. DALIMAEV, M. E. PODYMAKO, M. V. KOVALENKO

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL APPROACHES TO ASSESSING PASSENGER ELEVATOR CAB VENTILATION AND SEARCH FOR RESERVES TO IMPROVE IT

Abstract

An analysis of regulatory documents was carried out and criteria were formed to assess the level of ventilation quality in the elevator cabin. The TKA-PKM 52 device measured numerical values of the airflow velocity inside the cabin with the ventilation fan switched for inlet/outlet. Also, the numerical value of the airflow velocity in the elevator shaft (thrust in the shaft) was determined. A calculation model was created and prepared. Boundary conditions were identified, and computational experiments were carried out to verify generally accepted approaches to calculating aerodynamics as applied to the elevator car. The calculation was carried out using the finite element method. Based on the experimental results, the calculation model was validated. On the basis of calculation results, conclusions were drawn about the applicability of the approaches, and the level of ventilation quality in the elevator cabin produced by OJSC Mogilevliftmash was assessed.

Keywords:

comfort, elevator, finite element method, aerodynamics, air exchange, ventilation.

For citation:

Dalimaev, V. A. Computational and experimental approaches to assessing passenger elevator cab ventilation and search for reserves to improve it / V. A. Dalimaev, M. E. Podymako, M. V. Kovalenko // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 4 (85). – P. 5–16.