

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

TECHNOSPHERE SAFETY



УДК: 536.23

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-22-31>

Результаты исследования тепломассопереноса в условиях слабой аэродинамической связи при пульсирующем режиме вентиляции

А.Э. Филин , В.А. Филина , С.В. Тертычная , И.Ю. Курносов ,
И.С. Колбина , Д.Э. Пронина 

Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, г. Москва,
Российская Федерация

✉ aleks_filin@bk.ru

EDN: CMMJGA

Аннотация

Введение. Проблема тепловыделения в металлургии актуальна из-за возможных опасностей для персонала и окружающей среды. Действительный контроль за тепловыми процессами и управление ими требуют дополнительных мероприятий и могут предотвратить пожары, взрывы и травматизм в целом. Эффективное управление тепловыми процессами — один из ключевых факторов безопасности и надежности металлургического оборудования. Высокие температуры свойственны металлургии, но контроль за ними необходим для успешного выполнения процессов плавки и обработки стали. Применяемые способы контроля тепломассопереносом (азрация, общеобменная и местная вентиляция) не всегда позволяют снизить тепловую нагрузку до требуемого значения. Выбор режима пульсирующей вентиляции для повышения эффективности управления тепломассопереносом обусловлен двумя основными причинами: низкие скорости движения воздуха, которые свойственны крупным цехам металлургического производства, и большое количество труднодоступных ниш с тепловыделяющим оборудованием в них. Целью данного исследования в связи с этим является изучение процессов тепломассопереноса в зонах со слабой аэродинамической связью при пульсирующем режиме вентиляции.

Материалы и методы. Для получения статистических данных был использован метод физического моделирования. Процесс тепломассопереноса оценивался на основании изменения температуры с течением времени в различных точках модели ниши при разных режимах вентиляции (стационарном и пульсирующем). Для обработки полученных результатов измерений применялся метод системного анализа.

Результаты исследования. Было установлено положительное влияние пульсирующего движения воздуха на тепломассоперенос в плохо проветриваемой импровизированной нише внутри лабораторной установки. Определена степень эффективности влияния пульсирующей вентиляции на тепломассоперенос. Установлено, что при использовании метода пульсирующей вентиляции температура в центральной части ниши повышалась медленнее в 3,8 раза, чем при общеобменной принудительной вентиляции.

Обсуждение и заключение. Данные, полученные в смоделированных условиях вышеуказанного вида производства, позволяют разработать методику борьбы с отрицательным воздействием теплового излучения, что дает возможность повысить безопасность при отводе излишнего тепла в условиях слабой аэродинамики участков цехов горно-металлургических производств.

Ключевые слова: результаты эксперимента, тепломассоперенос, пульсирующая вентиляция, тепло, температура, слабая аэродинамическая связь, движение воздуха

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность редакционной коллегии журнала и опытному рецензенту за их глубокий анализ и важные рекомендации, которые позволили значительно улучшить статью по проблемам промышленной безопасности. Особую благодарность — команде и руководителю кафедры «Техносферная безопасность» НИТУ МИСИС за их неоценимую помощь в создании лаборатории и существенный вклад в успешное выполнение научных исследований.

Для цитирования. Филин А.Э., Филина В.А., Тертычная С.В., Курносов И.Ю., Колбина И.С., Пронина Д.Э. Результаты исследования тепломассопереноса в условиях слабой аэродинамической связи при пульсирующем режиме вентиляции. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2025;9(1):22–31. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-22-31>

Original Empirical Research

Research Results of Heat and Mass Transfer in Conditions of Weak Aerodynamic Coupling with Pulsating Ventilation Mode

Aleksandr E. Filin , Violetta A. Filina , Svetlana V. Tertychnaya , Ilya Yu. Kurnosov ,
Irina S. Kolbina , Darya E. Pronina 

National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

 aleks_filin@bk.ru

Abstract

Introduction. The issue of heat dissipation in metallurgy is significant due to potential hazards to personnel and the environment. Effective control and management of thermal processes require additional measures and can prevent fires, explosions, and personnel injuries as well as it is a key factor in ensuring the safety and reliability of metallurgical equipment. Metallurgical processes often involve high temperatures, but control over them is necessary for successful steel melting and processing. Current methods of heat transfer control (aeration, general exchange and local ventilation) do not always effectively reduce heat loads to acceptable levels. The choice of a pulsating ventilation mode for increasing the efficiency of heat transfer control is due to two main reasons: low air flow rates in large metallurgical production facilities, and the presence of numerous hard-to-reach areas with heat-generating equipment. The aim of this research is to investigate heat and mass transfer processes in areas with weak aerodynamic coupling with pulsating ventilation mode.

Materials and Methods. To achieve this goal, a method of physical modeling was employed to collect statistical data. Heat and mass transfer were evaluated by measuring temperature changes over time at various points in the model niche under different ventilation conditions (stationary and pulsating). System analysis was then applied to process the collected data.

Research Results. It was found that pulsating air movement had a positive effect on heat and mass transfer in poorly ventilated spaces inside the laboratory setup. The degree of efficiency of this effect was determined, and it was found that the use of pulsating ventilation slowed down the increase in temperature in the center of the space by 3.8 times compared to the use of general forced ventilation.

Discussion and Conclusion. The data obtained under the simulated conditions of the aforementioned type of production provide a foundation for developing a more specific methodology to counteract the negative effects of heat radiation. This methodology could significantly enhance safety by improving the removal of excess heat in low-aerodynamic areas of mining and metallurgical workshops.

Keywords: experimental results, heat and mass transfer, pulsating ventilation, heat, temperature, weak aerodynamic coupling, air movement

Acknowledgments. The authors would like to express their sincere gratitude to the Editorial board and the reviewers for their thorough analysis and for the specified comments that significantly improved the quality of the article in the field of industrial safety. The authors would like to extend their thanks to the team and the head of the Technosphere Safety Department at NUST MISIS for their invaluable assistance in setting up the laboratory and their significant contribution to the successful completion of the research.

For citation. Filin AE, Filina VA, Tertychnaya SV, Kurnosov IYu, Kolbina IS, Pronina DE. Research Results of Heat and Mass Transfer in Conditions of Weak Aerodynamic Coupling with Pulsating Ventilation Mode. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2025;9(1):22–31. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-22-31>

Введение. Тепловыделение — неотъемлемая часть металлургического производства. Избыточное тепловыделение вызывает перегрев оборудования, сопровождающийся последующими авариями, приводящими к выходу из строя производственного оборудования, травмам работников и большим финансовым потерям. Борьба с избыточным теплом в металлургии осуществляется следующими методами:

1. Прямое охлаждение: охлаждение металла в контакте с теплоотводными стержнями.
2. Охлаждение водой: использование воды для охлаждения металла.

3. Газовое охлаждение: использование газов для охлаждения металла, что гарантирует высокую интенсивность снижения температуры [1].

4. Криогенное охлаждение: применение сверхохлажденных жидких газов для термической обработки металлических материалов [2].

5. Индукционное охлаждение: создание внутреннего охлаждения с применением переменного магнитного поля.

Для металлургических цехов характерно значительное выделение тепла на различных этапах производства металла, таких как нагрев, плавление, формовка и литье [3]. Помимо этого, высокие температуры сопровождаются выбросами пыли и газов, что приводит к повышенной концентрации вредных веществ в воздухе. Это усложняет условия труда работников и требует использования специальной защиты, а также соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности [4]. При работе в металлургических цехах существует также риск возникновения пожаров, взрывов, получения серьезных термических травм [5].

Недостаточное охлаждение технологических установок, таких как зоны с большим количеством силовых кабелей или трансформаторные подстанции местного значения, часто становится причиной избыточного тепловыделения и накопления тепла, что может привести к отказам оборудования [6]. Поэтому очень важно внимательно наблюдать за температурным режимом на каждом этапе технологического процесса, тем самым обеспечивая стабильное и корректное температурное состояние производственных установок и электрооборудования [7]. Необходимо регулярно производить техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также вести мониторинг уровня теплового излучения в цехах, чтобы своевременно реагировать на возможные проблемы и разрабатывать меры для их устранения и недопущения [8]. Несмотря на все имеющиеся методы охлаждения аварийные и нестандартные ситуации и травматизм¹ в металлургическом производстве остаются насущной проблемой, хотя в последние десять лет наблюдается динамика их снижения [9].

Анализ существующих статистических данных по аварийности и травматизму за последние десять лет в горно-металлургической отрасли, а также оценка применяемых методов охлаждения показывают необходимость разработки более продуктивных мер для снижения теплового излучения и обеспечения бесперебойной работы оборудования [10]. В связи с этим авторами был разработан и смоделирован процесс тепломассопереноса с использованием метода пульсирующего движения воздуха, который достаточно хорошо повышает теплообмен при слабой аэродинамической связи [11]. Целью данного исследования является изучение влияния пульсирующего режима движения воздуха на температурные показатели воздушной среды в условиях малых скоростей движения и затрудненной аэрологической проницаемости при наличии общей вентиляции в помещении. В статье изложены результаты физического моделирования тепломассопереноса в условиях слабой аэродинамики.

Материалы и методы. Эксперименты по теплопереносу проводились на базе физической модели (рис. 1) со следующими характеристиками [12]:

- объем вентилируемого пространства — 1 м³;
- относительная влажность воздуха — от 26 до 28 %;
- температура воздуха — 21–23 °C [13].

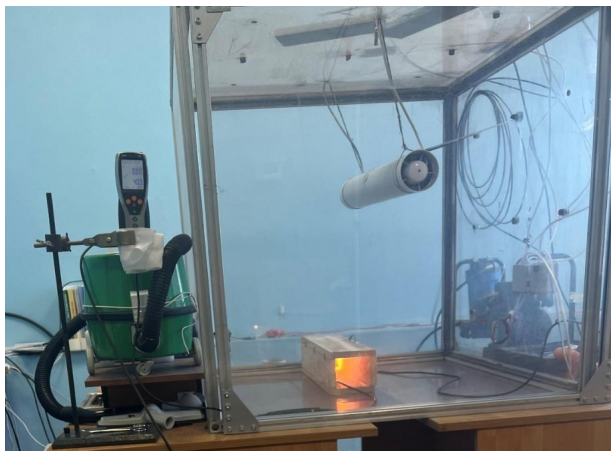


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки для физического моделирования теплопереноса при пульсирующем режиме вентиляции

¹ Травматизм. Красные цифры статистики. Горно-металлургический профсоюз России. URL: <https://www.gmpr.ru/> (дата обращения: 20.11.2024).

На рис. 1 изображена конструкция, имитирующая вентилируемое помещение, в виде куба с длиной сторон в 1 метр. В центральной части данного объема размещено устройство, «Пульсатор» (рис. 2 а, 5). Ниже приведены его характеристики:

- длина устройства «Пульсатор» — 0,57 м;
- диаметр — 0,1 м;
- скорость вращения вентилятора в установке «Пульсатор» — около 180 об/мин;
- расход воздуха в устройстве «Пульсатор» — 0,007 м³/с;
- скорость потока общеобменной вентиляции — 2,2 м/с [14].

При планировании эксперимента были установлены минимальные и достаточные требования к его проведению [15]. Точность измерений:

- время — в минутах;
- температура — 0,1 °С;
- расстояние — 1 см;
- импульс давления — 1 Гц.

Схема лабораторной установки показана на рис. 2. Генератор воздушного потока (рис. 2 а, 1) общеобменной вентиляции, имитирующий процесс искусственной вентиляции в помещении, размещен с левой стороны внизу лабораторной модели (в середине). Расстояние по высоте от основания лабораторной установки — 7 см. Выходное отверстие ниши (рис. 2 а, 2), имитирующей зону затрудненной аэрологической проницаемости, размещено на основании лабораторной установки в центре, а сама конструкция ниши упирается в заднюю стенку куба. Размеры ниши имеют следующие параметры:

- высота — 0,1 м;
- длина — 0,5 м;
- ширина проема — 0,12 м;
- толщина стенок — 0,012 м;
- материал стенок — сосна.

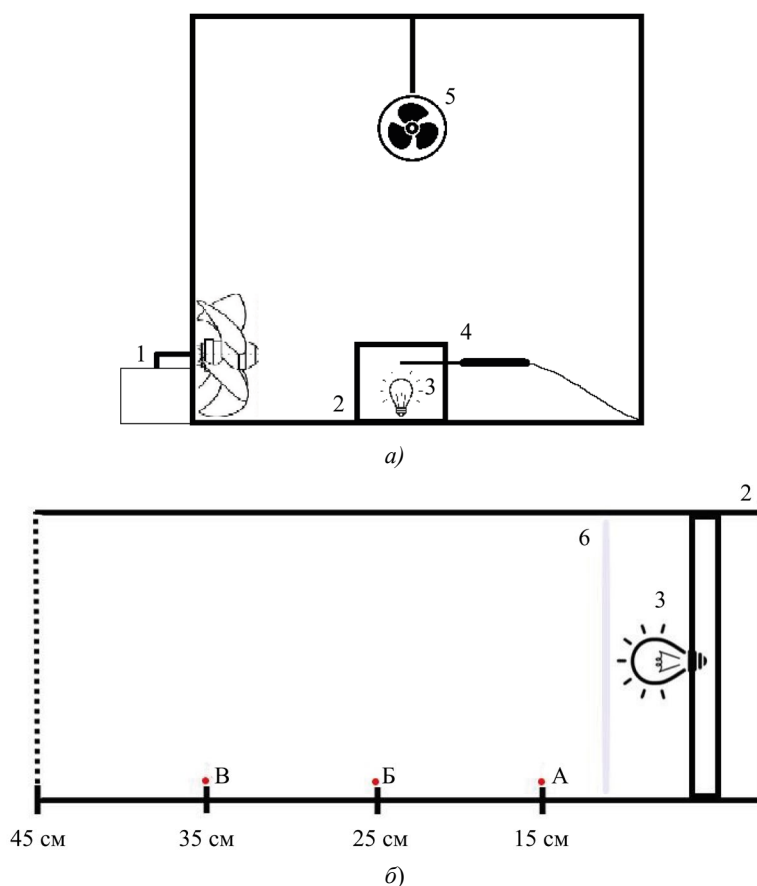


Рис. 2. Схема лабораторной установки для исследования процессов тепломассопереноса: а — общий вид лабораторного стенда; б — места расположения датчика, измеряющего температуру, с указанием расстояния от источника тепла;

1 — вентилятор; 2 — ниша, имитирующая зону затрудненной аэрологической проницаемости; 3 — источник тепловыделения; 4 — датчик температуры и влажности; 5 — устройство «Пульсатор»; 6 — экранирующая пластина

В дальней от входа части ниши на расстоянии 0,45 м размещен источник тепла (рис. 2 б, 3). Источником тепла являлась лампа накаливания мощностью 25 Вт. При экспериментах изучались два вида теплопереноса: радиационное и конвективное. Схема размещения оборудования при проведении эксперимента показана на рис. 2.

Эксперимент по изучению процессов тепломассопереноса производился с фиксированием значений температуры датчиком, располагающимся на полу ниши, на расстоянии 0,15, 0,25 и 0,35 м (рис. 2 б). Буквы, выделенные красным, характеризуют положение датчика температуры при проведении эксперимента. Эксперимент проводился как при стационарном (без применения пульсатора) воздухообмене, так и с применением режима пульсирующей вентиляции. На каждом отрезке было зафиксировано 70 значений температуры в течение 60 минут. В соответствии с программой эксперимента, как было сказано ранее, ниша размещалась на основании лабораторной установки, датчик, измеряющий температуру, размещался в точках измерения А, Б и В (рис. 2 б). Измерения производились в нижней части ниши (у пола).

Второй этап изысканий по оценке влияния пульсирующего режима движения воздуха заключался в применении экрана, который рассеивал прямую тепловую радиацию. Данный экран был расположен между источниками тепла и точками измерения температуры. Экран был установлен стационарно в одном месте при всех измерениях. Размеры экрана — 0,1 х 0,1 м. Материал экрана — белая пластмасса толщиной 0,001 м. Периодически в процессе нагрева включался «Пульсатор», например, на 18-й минуте эксперимента. Было отмечено, что работа «Пульсатора» приводила к уменьшению роста температуры в нише в каждой точке измерений. Измерения выполнялись на основании той же методики.

В целом было установлено, что на момент включения «Пульсатора» рост температуры в нише был в 1,5 раза меньше, чем при выключенном устройстве. В дальнейшем для масштабирования процесса турбулентного теплопереноса в натуральных условиях будут использоваться критерии подобия.

Результаты исследования. На основе проведенных экспериментов были построены графики зависимости изменения температуры от времени. На рис. 3 представлены результаты этих измерений. Значения абсолютной и относительной погрешностей составили 4,45 °С и 8 % соответственно. График с синей линией демонстрирует изменения температуры при использовании экрана, а график с зеленой линией отображает изменения температуры (в интервале с 18-й по 30-ю минуту данного этапа эксперимента) при включенном режиме пульсирующего движения воздуха с установленным пластиковым экраном.

После проведения экспериментов были рассчитаны относительные приращения температуры в каждой точке проведения измерений стационарного (на графике отмечен синим цветом) и пульсирующего режимов для их сравнения. После расчета приращений при разных режимах были получены зависимости. На рис. 4 приведен график зависимости коэффициента приращения температуры от времени с применением экрана.

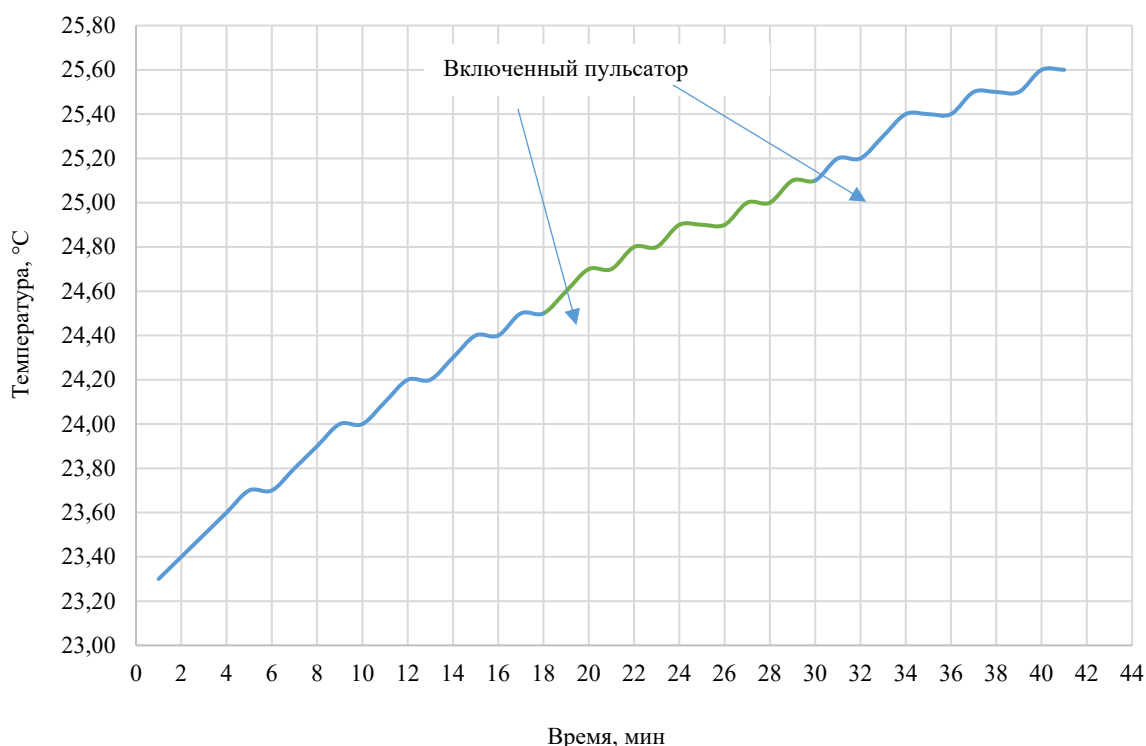


Рис. 3. График зависимости температуры от времени теплового излучения на расстоянии 35 см от источника излучения с установленным экраном

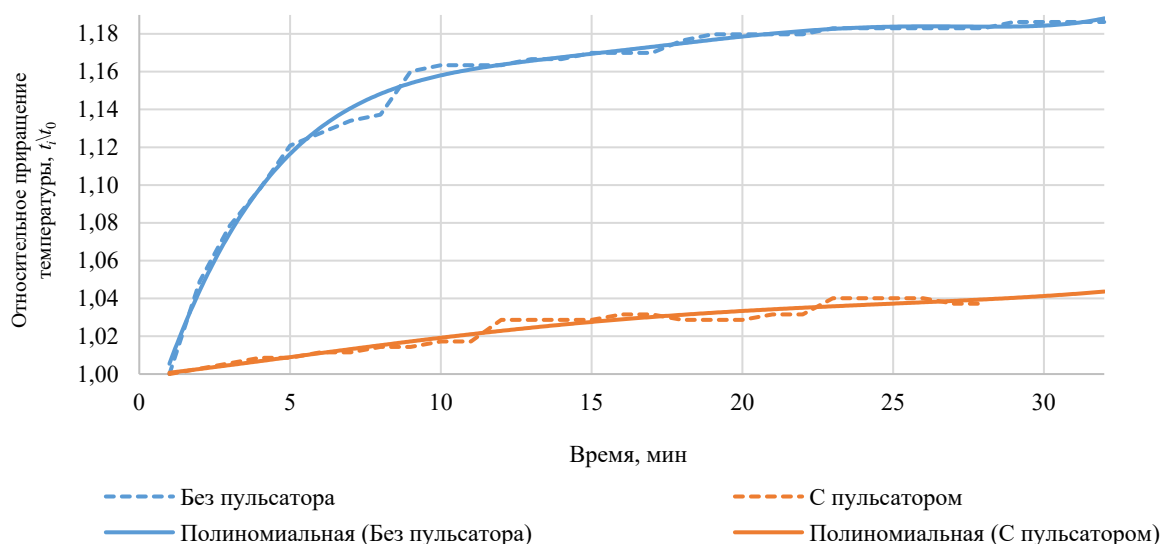


Рис. 4. Графики зависимости относительного приращения температуры от времени на расстоянии 35 см от источника излучения с применением экрана

Далее данные приращения были распределены по режимам и временным диапазонам. На рис. 5 представлены графики зависимости усредненных значений относительного приращения температуры (t/V_0) от времени при стационарном и пульсирующем режимах для всего объема ниши.

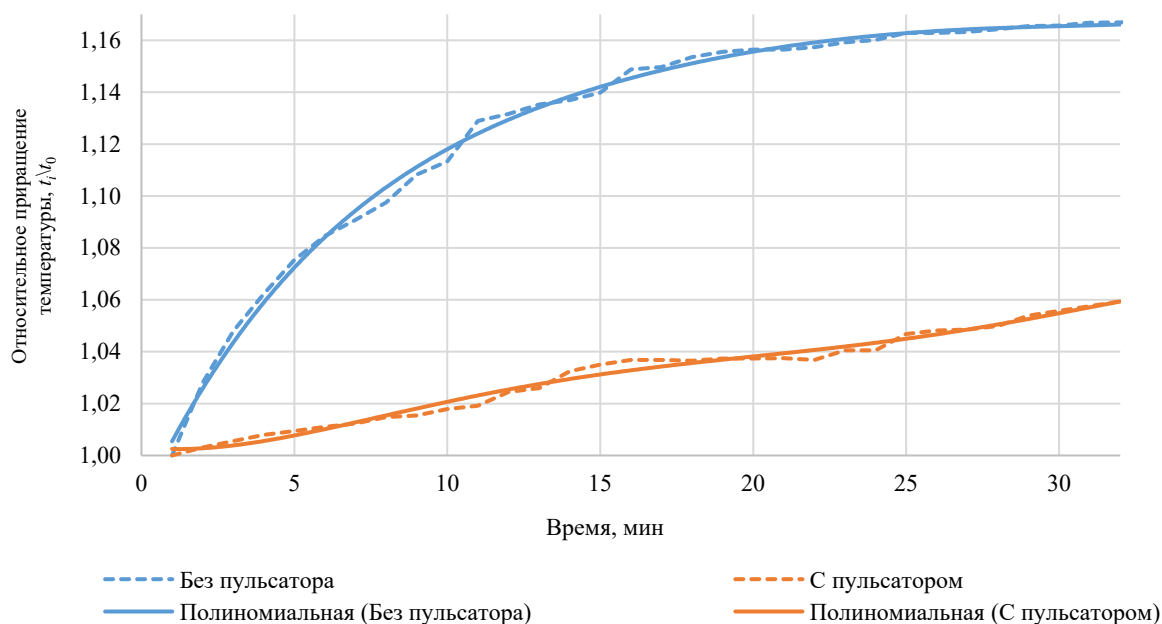


Рис. 5. Графики зависимости усредненных значений относительного приращения температуры от времени при стационарном и пульсирующем режимах

Согласно данным этого графика, температура в первые 15 мин. проведения эксперимента повышалась менее интенсивно с применением метода пульсирующей вентиляции и имела стабильный незначительный рост. В условиях стационарного режима исследуемого процесса отмечалась максимальная интенсивность роста температуры.

Сравнение изменений температуры в интервалах с 1 по 15 мин. и с 16 по 32 мин. показывает, что в течение первого интервала эффективность пульсирующего режима рост температуры ниже (рис. 6). Далее характеристики имели одинаковые значения (рис. 7).

На рис. 8 представлены значения угловых коэффициентов, показывающих степень эффективности пульсирующего режима в сравнении со стационарным, на разных временных интервалах. В интервале с 1 по 15 мин. угловой коэффициент выше у стационарного режима в 3,8 раза, по сравнению с пульсирующим, что свидетельствует о большей интенсивности тепломассопереноса. В следующем интервале (16–32 мин.) данный эффект теряется.

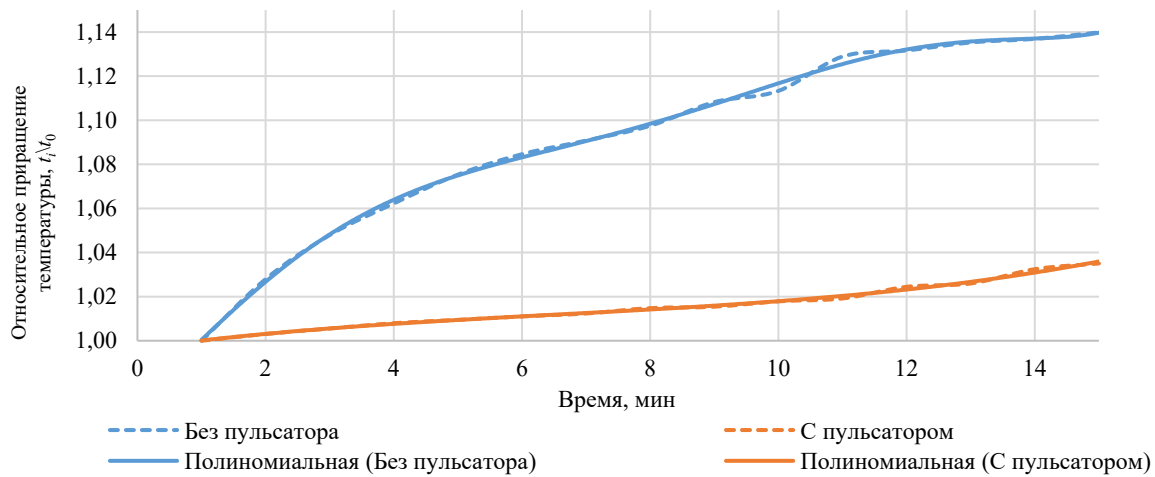


Рис. 6. Графики зависимости усредненных значений относительного приращения температуры от времени при стационарном и пульсирующем режимах (временной диапазон — 1–15 мин.)

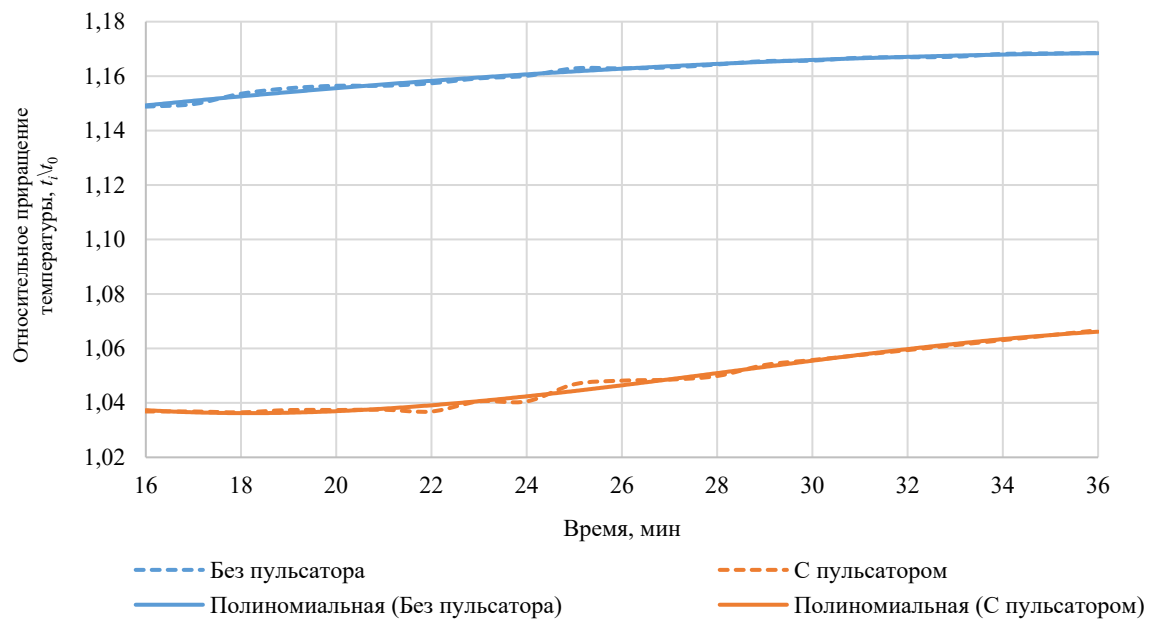


Рис. 7. Графики зависимости усредненных значений относительного приращения температуры от времени при стационарном и пульсирующем режимах (временной диапазон — 16–32 мин.)

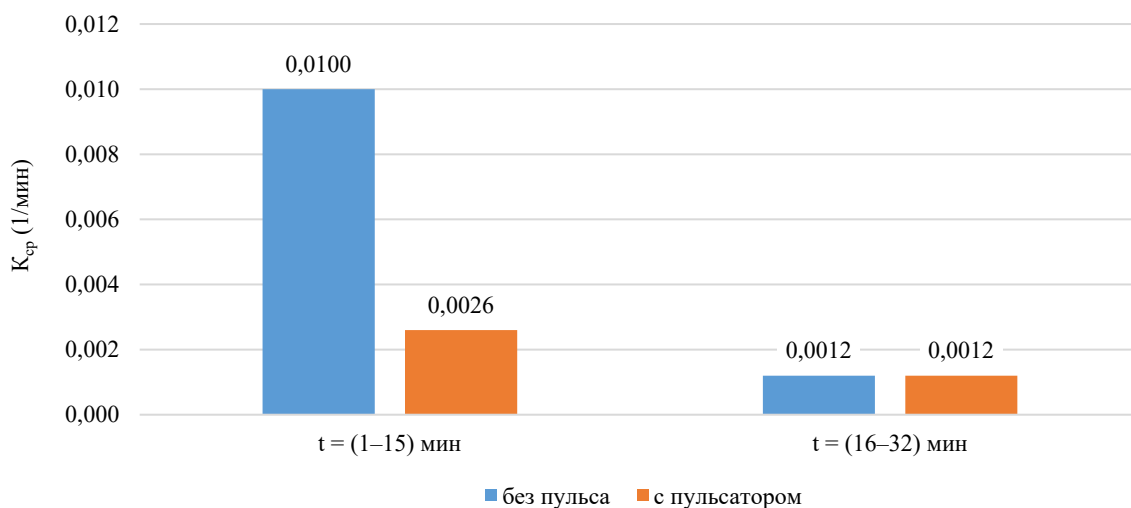


Рис. 8. Значения угловых коэффициентов на разных временных интервалах

Обсуждение и заключение. Полученные зависимости относительного прироста температуры при работе пульсатора и без него от времени позволили наглядно сравнить процессы роста температуры и получить значения угловых коэффициентов при этих двух режимах. Коэффициенты показывают: пульсирующий режим позволяет снижать рост температуры в 3,8 раза в первые 15 мин. на всех измеряемых точках ниши, что доказывает эффективность влияния предлагаемого метода. В последующий временной интервал во всех случаях была зафиксирована стабилизация температурных показателей, температура в нише без пульсатора и с включением пульсатора увеличивалась незначительно.

Эффективность пульсаций наблюдалась на расстоянии не менее чем трех диаметров ($L = 3d$) ниши в данных условиях. Было установлено, что при каждом включении пульсатора наблюдалась устойчивая картина роста турбулентного теплопереноса. Таким образом, можно утверждать, что данный метод может быть использован для управления тепловой нагрузкой на различном оборудовании и ряде технологических процессов.

Проведенные эксперименты дали возможность получить первичную информацию об эффективности воздействия описанного выше метода на тепломассоперенос, в дальнейшем работа будет продолжена, и эксперименты будут направлены на получение и анализ размерных и безразмерных характеристик турбулентного тепломассопереноса.

Список литературы / References

1. Вараксин А.Ю., Протасов М.В. О влиянии вдува газа на защиту поверхностей тел, обтекаемых двухфазным потоком. *Теплофизика высоких температур*. 2017;55(6):785–788. <https://doi.org/10.7868/S0040364417060151>

Varaksin AY, Protasov MV. The Effect of Gas Injection on the Protection of Body Surfaces Streamlined by a Two-Phase Flow. *Teplofizika Vysokikh Temperatur*. 2017;55(6):785–788. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0040364417060151>

2. Коркмаз М.Э., Гупта М.К. Современный уровень криогенного охлаждения и его применение при механической обработке труднообрабатываемых сплавов. *Материалы*. 2024;17(9):2057. <https://doi.org/10.3390/ma17092057>

Korkmaz ME, Gupta MK. A State of the Art on Cryogenic Cooling and Its Applications in the Machining of Difficult-to-Machine Alloys. *Materials*. 2024;17(9):2057. <https://doi.org/10.3390/ma17092057>

3. Мислибаев И.Т., Махмудов А., Мусурманов Э.Ш. Исследование кинематики движения потока воздуха при вентиляции тупиковых рабочих мест шахты. *Academic research in educational sciences*. 2021;2(6):226–236. <https://doi.org/10.24412/2181-1385-2021-6-226-236>

Mislibaev IT, Makhmudov A, Musurmanov ESh. Study of the Kinematics of the Air Flow Movement during Ventilation of Dead-End Working Places of the Mine. *Academic Research in Educational Sciences*. 2021;2(6):226–236. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2181-1385-2021-6-226-236>

4. Курнаева С.В., Бугаева Н.С., Тимофеев В.Н. Исследование процессов тепломассопереноса в индукционных канальных печах для производства алюминия. В: *Труды международной научно-практической конференции «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты»*. Кемерово, 25–26 мая 2016 года. В 3-х томах. Том 3. Кемерово: Западно-Сибирский научный центр; 2016. С. 121–125.

Kurnaeva SV, Bugaeva NS, Timofeev VN. Investigation of Heat and Mass Transfer Processes in Induction Duct Furnaces for Aluminum Production. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects”*. Kemerovo, May 25-26, 2016. In 3 volumes. Volume 3. Kemerovo: West Siberian Scientific Center; 2016. P. 121–125. (In Russ.)

5. Черечукин В.Г. Оценка эффективности вентиляции тупиковых выработок по факту взрывобезопасности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016;(10):347–351.

Cherechukin VG. Explosion Hazard Assessment of Blind Drift Ventilation Efficiency. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2016;(10):347–351. (In Russ.)

6. Смирняков В.В., Родионов В.А., Смирнякова В.В., Орлов Ф.А. Влияние формы и размеров пылевых фракций на их распределение и накопление в горных выработках при изменении структуры воздушного потока. *Записки горного института*. 2022;253:71–81. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.12>

Smirnyakov VV, Rodionov VA, Smirnyakova VV, Orlov FA. The Influence of the Shape and Size of Dust Fractions on Their Distribution and Accumulation in Mine Workings When Changing the Structure of Air Flow. *Journal of Mining Institute*. 2022;253:71–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.12>

7. Кузнецова Е.А., Михина Т.В. Производственный травматизм в РФ: анализ состояния в регионах и по видам экономической деятельности. *Социально-трудовые исследования*. 2022;1(46):8–15. <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2022-46-1-8-15>

Kuznetsova EA, Mikhina TV. Occupational Injuries in the Russian Federation: Analysis by Regions and Types of Economic Activity. *Social and Labor Research*. 2022;1(46):8–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2022-46-1-8-15>

8. Асламова Е.А., Асламова В.С., Блинова Д.С., Асламов А.А. Анализ трендов производственного травматизма в России за 2000–2020 годы. *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2021;1(15):175–180.

Aslamova EA, Aslamova VS, Blinova DS, Aslamov AA. Analysis of Production Trends Injuries in Russia in 2000–2020. *Bulletin of the Angarsk State Technical University*. 2021;1(15):175–180. (In Russ.)

9. Мальцев С.В., Казаков Б.П., Исаевич А.Г., Семин М.А. Исследование динамики процесса воздухообмена в системе тупиковых и сквозной выработок большого сечения. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020;(2):46–57. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57>

Maltsev SV, Kazakov BP, Isaevich AG, Semin MA. Air Exchange Dynamics in the System of Large Cross-Section Blind Roadways. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2020;(2):46–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57>

10. Ткаченко П. Статистика производственного травматизма в России в 2022 году. URL: <https://www.centrattek.ru/info/travmatizm-2022/> (дата обращения: 20.11.2024).

Tkachenko P. Occupational Injury Statistics in Russia in 2022. (In Russ.) URL: <https://www.centrattek.ru/info/travmatizm-2022/> (accessed: 20.11.2024).

11. Bai Y, Yao Yi, Zheng Sh. Design and Analysis of Heat Exchanger Efficiency. *Bulletin of Science and Practice*. 2023;9(6):373–380. <http://doi.org/10.33619/2414-2948/91/44>

12. Nel AJH, Vosloo JC, Mathews MJ. Evaluating Complex Mine Ventilation Operational Changes through Simulations. *Journal of Energy in Southern Africa*. 2018;29(3):22–32. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2018/v29i3a4445>

13. Zender-Świercz E. Review of IAQ in Premises Equipped with Façade–Ventilation Systems. *Atmosphere*. 2021;12(2):220. <https://doi.org/10.3390/atmos12020220>

14. Darmanis M, Çakan M, Moustris KP, Kavadias KA, Nikas K-SP. Utilisation of Mass and Night Ventilation in Decreasing Cooling Load Demand. *Sustainability*. 2020;12(18):7826. <https://doi.org/10.3390/su12187826>

15. Tähtinen K, Lappalainen S, Karvala K, Remes J, Salonen H. Association between Four-Level Categorisation of Indoor Exposure and Perceived Indoor Air Quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;15(4):679. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040679>

Об авторах:

Александр Эдуардович Филин, доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), aleks_filin@bk.ru

Виолетта Александровна Филина, аспирант кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [ORCID](#), [ResearcherID](#), danilovavikky@mail.ru

Светлана Вячеславовна Тертычная, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), svetter@mail.ru

Илья Юрьевич Курносов, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), kurnosovilya@yandex.ru

Ирина Сергеевна Колбина, аспирант, ассистент кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [ORCID](#), [ResearcherID](#), Zvc.665@yandex.ru

Дарья Эдуардовна Пронина, аспирант кафедры техносферной безопасности Национального исследовательского технологического университета МИСИС (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1), [ORCID](#), [ResearcherID](#), depronina@atomtes.ru

Заявленный вклад авторов:

А.Э. Филин: научное руководство, написание рукописи, рецензирование и редактирование.

В.А. Филина: разработка концепции, проведение исследования.

С.В. Тертычная: формальный анализ, разработка методологии.

И.Ю. Курносов: написание черновика рукописи.

И.С. Колбина: валидация результатов.

Д.Э. Пронина: визуализация.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Aleksandr E. Filin, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), aleks_filin@bk.ru

Violetta A. Filina, Postgraduate Student of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [ORCID](#), [ResearcherID](#), danilovavikky@mail.ru

Svetlana V. Tertychnaya, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), svetter@mail.ru

Ilya Yu. Kurnosov, Senior Lecturer of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), kurnosovilya@yandex.ru

Irina S. Kolbina, Postgraduate Student, Assistant of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [ORCID](#), [ResearcherID](#), Zvc.665@yandex.ru

Darya E. Pronina, Postgraduate Student of the Technosphere Safety Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninsky Prospekt, b. 1, Moscow, 119049, Russian Federation), [ORCID](#), [ResearcherID](#), depronina@atomtes.ru

Claimed Contributorship:

AE Filin: academic advising, manuscript writing, reviewing and editing.

VA Filina: concept development, research.

SV Tertychnaya: formal analysis, methodology development.

IYu Kurnosov: writing a draft manuscript.

IS Kolbina: validation of results.

DE Pronina: visualization.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Поступила в редакцию / Received 03.12.2024

Поступила после рецензирования / Revised 26.12.2024

Принята к публикации / Accepted 09.01.2025