

–Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошкеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.01.77

<https://doi.org/10.48081/JHRA5616>**С. М. Махмұтова*, А. А. Калинин**Карагандинский Технический университет имени Абылқаса Сағинова,
Республика Казахстан, г. Караганда*e-mail: s.mahmutova@kstu.kz**МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ЗОН
В ВОЗДУХОВОДЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Целью статьи является сравнение методик исследования вихревых зон в воздуховоде горнодобывающих предприятий с помощью программы Ansys Fluent. В статье представлены численные и экспериментальные результаты изучения очертаний вихревых зон, образующихся в месте установки раструба с использованием программного комплекса Ansys Fluent. Получены графические и аналитические изменения коэффициентов местного сопротивления с помощью метода дискретных вихрей и вычислительной гидродинамики, а также сравнение результатов исследований. Результаты исследований должны показать уменьшение коэффициентов местного сопротивления в местах завихрения воздушного потока за счет профилирующих элементов, что приведет к уменьшению потребления энергии и повысит эффективность системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Сравнение методик поможет подобрать определенную конструкцию профилирующего элемента (раструба), оптимальную длину, диаметр и т.д. Метод дискретных волн может быть применен для моделирования звуковых волн в воздухе, акустических явлений и распространения звука в атмосфере, этот метод может быть полезен при моделировании взаимодействия воздуха с различными объектами, в то время как вычислительная гидродинамика может быть использована для моделирования течений воздуха в различных условиях, таких как аэродинамические

процессы, обтекание объектов, аэродинамическое торможение и другие явления.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, метод дискретных вихрей, вычислительная гидродинамика, раструб.

Введение

Энергоэффективность воздуховодов шахт является важным аспектом для обеспечения безопасной и эффективной работы горных предприятий [1]. Воздуховоды играют ключевую роль в поддержании необходимой вентиляции и обеспечении своевременной подачи свежего воздуха в места добычи. Однако, неправильно спроектированные и установленные воздуховоды могут привести к значительным потерям энергии и увеличению затрат на электроэнергию [2].

Повышение энергоэффективности воздуховодов может быть достигнуто путем использования современных технологий и материалов, оптимизации конструкции и улучшения системы управления [3]. Например, использование воздуховодов с утеплителем может значительно снизить потери тепла и повысить эффективность системы вентиляции. Также, применение систем автоматического контроля и управления может помочь оптимизировать работу вентиляционной системы и снизить затраты на электроэнергию. Также, изменение конструкции воздуховодов может помочь значительно снизить коэффициент сопротивления и, следовательно, сэкономить электроэнергию.

Улучшение энергоэффективности воздуховодов шахт не только позволит снизить затраты на электроэнергию, но и снизит вредное воздействие на окружающую среду и улучшит условия труда для рабочих на горных предприятиях [4].

Материалы и методы

При численном расчете методами CFD (вычислительная гидродинамика) использовались настройки компьютерной модели в результате подробной валидации. В качестве модели турбулентности была выбрана модель Рейнольдсовых напряжений, в сочетании с «расширенным» пристеночным моделированием [5].

Граничные условия (ГУ) (рисунок 1): AB – вытяжная граница (ГУ «Velocity Inlet») с равномерным профилем скорости, со значением, соответствующим экспериментальному (v_x от 5,13 м/с до 7,59 м/с), BCDE – непроницаемая стенка («Wall»), CFGI – проницаемая граница (ГУ «Pressure Inlet», со значением избыточного давления равным нулю), AI – ось симметрии расчетной области («Symmetry»). Размеры ячеек первоначальной расчетной сетки, прилегающих к границам

профилированных участков раструбов, были взяты достаточно мелкими ($\sim 0,3\text{ мм}$), для обеспечения необходимой плавности профиля. При удалении от профилированного участка размеры ячеек плавно увеличивались до ($\sim 30\text{ мм}$), общее количество ячеек в расчетной области около 20 тысяч. Сетка не структурированная с четырехугольными элементами. Радиус канала $R = 0,056\text{ м}$. Размер внешней области – 1 м в каждую сторону от раструба по горизонтали и 1 м по вертикали. Длина канала – 1,5 м. Расчеты проводились для раструбов с длиной фланца $d = 1R, 2R, 3R, 5R$ и углами наклона $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ и 90° . Очертания профилей соответствовали очерканиям вихревых зон, найденных из решения задач о непрофилированных («острых») раструбах. Поскольку при таком течении образуются две вихревые зоны (ВЗ) – на входе в раструб (1 ВЗ) и на входе в канал (место присоединения раструба к каналу – 2 ВЗ), исследуется влияние профилирования на очертания каждой из этих зон, а также при профилировании по очертаниям, полученным из расчета методом дискретных вихрей (МДВ) [6].

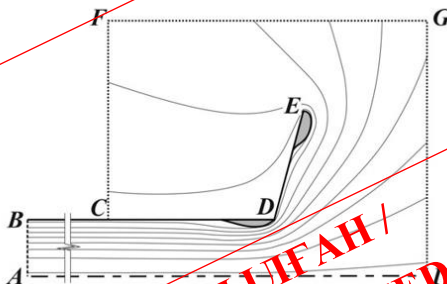


Рисунок 1 – Геометрия расчетной области модели раструба профилированного по очерканиям обеих вихревых зон

Каждая задача исследовалась на сеточную сходимость, для чего проводилось поэтапное измельчение первоначальной грубой сетки, сначала во всей области, затем с уменьшением области адаптации, и затем в несколько этапов – вдоль твердых границ, для правильного разрешения сеткой пограничных слоев. При этом определялось значение коэффициента местного сопротивления (КМС), а степень измельчения характеризовалась безразмерным значением величины y^+ . На рисунке 2 приведены графики изменения КМС при измельчении сетки для разных видов профилирования вытяжного зонта с углом наклона фланца 90° и длиной $d=1R$, иллюстрирующие исследования на сеточную сходимость (1 ВЗ – по очертанию первой вихревой зоны; 2 ВЗ – по очертанию второй ВЗ; 1,2 ВЗ – по очертаниям первой и второй ВЗ, найденным из CFD и МДВ

исследованиям). При профилировании по очертаниям из МДВ для второй ВЗ взята конструкция «без заужения», поскольку, используя МДВ невозможно найти точку замыкания второй ВЗ на стенке канала [7].

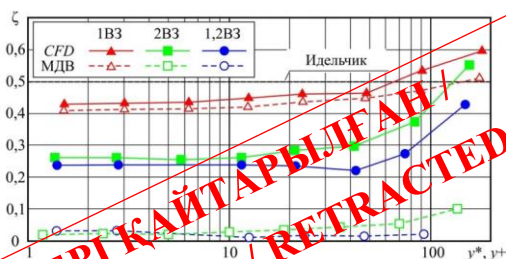


Рисунок 2 – Исследование на сеточную сходимость при разных видах профилирования.

Характер изменения КМС при измельчении, который не зависит от вида профилирования, указывает на то, что решение для последних наиболее измельченных сеток перестает зависеть от размера ячеек, то есть достигается сеточная сходимость численного решения. При этом размер минимальных ячеек составляет порядка 0,6 мкм, а их общее количество порядка 800 тысяч.

Профилирование по очертаниям из МДВ и CFD. Для оценки влияния на КМС профилирования по очертаниям первой и второй ВЗ для задачи с углом наклона фланца 90° и его длиной $1R$ были построены модели с профилированием по очертаниям первой ВЗ – полученные методом CFD (рисунок 3а) и МДВ (рисунок 3б), модель с профилированием по очертанию второй ВЗ (рисунок 3в) и модель с профилированием по очертаниям и первой и второй ВЗ, полученным из CFD (рисунок 3г). На рисунке 3 (а, б, в, г) показаны линии тока получившихся течений: а) по первой ВЗ методом CFD; б) по первой ВЗ методом МДВ; в) по второй ВЗ методом CFD; г) по первой и второй ВЗ методом CFD.

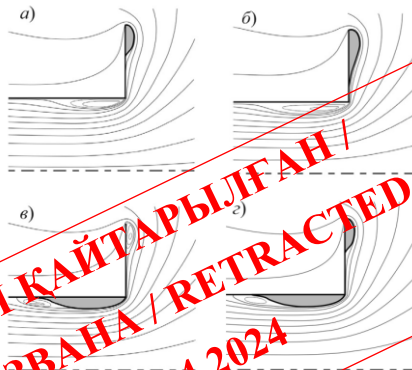


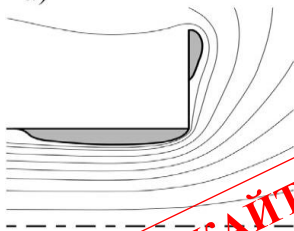
Рисунок 3 – Линии тока течений для разных вариантов профилирования.

Видно, что профилирование по очертанию ВЗ найденному при помощи МДВ приводит к плавному, безотрывному течению (рисунок 3б), а резкое замыкание на стенке раструба профиля, найденного методом CFD, приводит к образованию после профилированного участка, вторичной вихревой зоны (рисунок 3а и в), которая значительно меньше первичной. При профилировании по очертанию первой ВЗ, полученному при помощи CFD КМС снижается до 0,42, то есть на 16 %, относительно не профилированной конструкции (рисунок 3а), а при помощи МДВ до 0,409, то есть на 18 % (рисунок 3б). При профилировании по второй ВЗ, найденной по CFD (рисунок 3в) КМС снижается на 48 % и составляет 0,262, то есть влияние второй ВЗ для этой конструкции более существенно, чем первой, что может объясняться более высокими скоростями движения воздуха в ней. При профилировании по своим очертаниям ВЗ, найденным по CFD (рисунок 3г), КМС снижается на 53% и равен 0,237, при дальнейшем профилировании по возникшему в этом случае вторичным ВЗ КМС снижается на 62 % (относительно непрофилированного раструба) и равен 0,162 (рисунок 3а).

Еще больше можно снизить КМС (ζ), если убрать заужение потока в трубе. Линии тока при профилировании: а) по вторичным ВЗ по CFD; б) по второй ВЗ по МДВ без заужения; в) по первой и второй ВЗ по МДВ без заужения; г) по первой и второй ВЗ по МДВ без заужения – «ломаный» вытяжной зонг; д) профилированного по обеим ВЗ по очертаниям из CFD; е) непрофилированный (рисунок 4).

$$\zeta = 0,162; \Delta\zeta = 62\%$$

а)



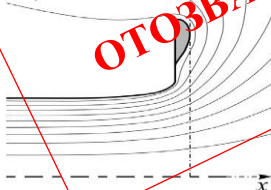
$$\zeta = 0,022; \Delta\zeta = 96\%$$

б)



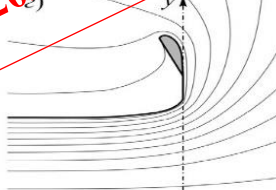
$$\zeta = 0,01; \Delta\zeta = 98\%$$

в)



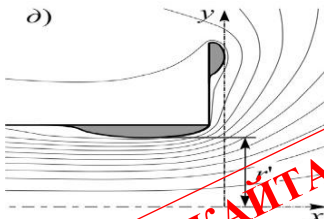
$$\zeta = 0,035; \Delta\zeta = 93\%$$

г)



$$\zeta = 0,262; \Delta\zeta = 48\%$$

д)



$$\zeta = 0,5$$

е)

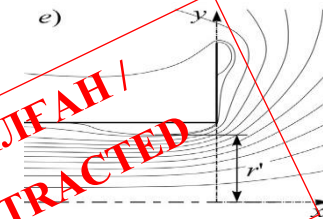


Рисунок 4 – Линии тока течений при профилировании.

Профилированием по второй ВЗ, выполненным по очертанию, найденному при помощи МДВ, как показано на рисунок 4 б, можно снизить КМС на 96 % до 0,022. КМС профилированного этим способом раструба по обеим ВЗ, найденным по МДВ (рисунок 4 в), составляет 0,01, т.е. снижается на 98 %. Можно убрать и загромождение потока, образованное профилированием по первой ВЗ. Для этого делается излом (рисунок 4 г) под таким углом, чтобы очертание ВЗ сливалось с первой частью раструба – «ломаный» раструб. В этом случае КМС будет равен 0,035 (снижение на 93 %).

Результаты и обсуждения

Как уже отмечалось, очертания вихревой зоны, найденные по МДВ, более плавно замыкаются на стенку чем численно. В связи с этим, при моделировании течения в профилированном раструбе по очертаниям из CFD в области, где профилированный участок примыкает к исходной стенке раструба, возникает вихревая зона («вторичная»), которая меньше исходной, по которой проводилось профилирование. При профилировании по очертаниям, найденным МДВ, поскольку они более плавно замыкаются на стенку, таких вторичных ВЗ не зафиксировано (рисунок 5). Здесь на рисунке 5 а и б показаны линии тока для течения в раструб с длиной полки $2R$ и углом раскрытия $\alpha = 30^\circ$; профилированным по очертаниям CFD и МДВ соответственно. При этом значения КМС составили соответственно $\zeta_{\text{CFDпроф}} = 0,052$; $\zeta_{\text{МДВпроф}} = 0,047$; $\zeta_{\text{CFDнепроф}} = 0,0508$ [9].

В приведенном примере раструба с длиной полки $2R$ и углом раскрытия $\alpha = 30^\circ$ вторая ВЗ практически не возникает, и, по приведенным данным, профилирование по очертаниям CFD приводит даже к некоторому увеличению КМС, однако это скорее наложение погрешности численного эксперимента при очень малых значениях самих КМС, а также результат отсутствия эффекта снижения КМС при профилировании только по первой ВЗ.

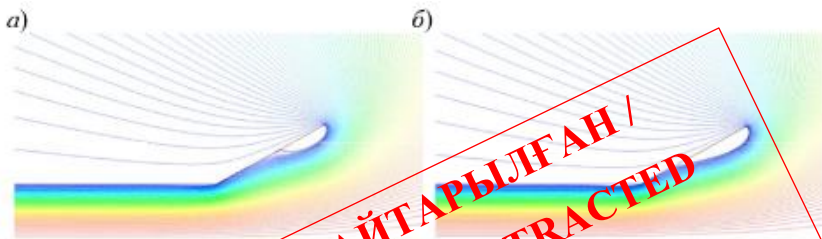


Рисунок 5 – Профилирование по очертаниям ВЗ из CFD (а) и МДВ (б) моделирования.

Выводы

Разница между значениями КМС, определенными методом CFD для непрофилированной и профилированной конструкций, составляет всего 2,3 %, снижение при использовании профиля МДВ составляет 7,4%, что тоже очень мало и может объясняться погрешностью расчета. Ясно, что лучше использовать очертания, полностью исключающие вихреобразование (по МДВ), но оценить насколько это более энергоэффективно, пока не представляется возможным, поскольку основной эффект на снижение КМС оказывает профилирование по второй ВЗ, очертания которой в МДВ нельзя определить на всем ее протяжении до точки замыкания на стенке. Поэтому

этот профиль лучше использовать в виде конструкций со сдвигом профилированного участка, когда не существенен вопрос о габаритах раструба, поскольку такая конструкция имеет большие размеры по сравнению с профилированием без сдвига. По поводу профилирования по первой ВЗ, также нужно отметить, что, исключая возникновение ВЗ, предотвращается возможный обратный вынос пылевых частиц [10].

Для случая использования профилирования без сдвига профилированного участка использовать очертания второй ВЗ, найденной из МДВ невозможно, и далее используются очертания, найденные из численного моделирования CFD, в том числе и для первой ВЗ. Для дальнейших исследований необходимо будет также рассмотреть вторую вихревую зону и определить изменения значений КМС. С помощью уменьшения коэффициента сопротивления можно достичь значительной экономии энергии и повышения эффективности работы системы вентиляции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Идельчик, И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям // Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992 – 672 с.
- 2 **Велькин, В. И., Щелоков, Я. М., Щеклеин, С. Е.** Возобновляемая энергетика и энергосбережение. Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2020 – 312 с.
- 3 **Посохин, В.Н.** Аэродинамика вентиляции. М. : АВОК-ПРЕСС, 2008. – С. 214.
- 4 **Зиганшин, А. М., Батрова, Р. Б., Гимадиева, Т. А.** Численное определение характеристик течений через последовательное боковое отверстие в воздуховоде // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 7. – С. 53–65.
- 5 **Махмудова, С. М., Калинин, А. А., Бот, Р., Мосави, А., Смагулова, К. К.** Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises (Препринт). Acta Politecnica Hungarica.
- 6 **Li A. et al.** Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Simul. 2014 – Vol. 7. – № 2 – P. 175–184.
- 7 **J. Chen,** Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood Ind. Health. –56. (2018) – P. 278–284.
- 8 **Pietrowicz S., Kolasinski P., Pomorski M.** Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method // Chem. Eng. Res.Des. – 2018. – Vol. 132. – P. 627–643.

9 **Logachev K. I.** et al. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods // *Energy Build.* – 2018. – Vol. 173. – P. 58–70.

10 **Бадыкова, Л. Н., Беляева, Е. Э., Гимадиева Г. А.** Испытание установки для исследования энергоэффективных вентиляционных фасонных деталей // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура.* – 2017 – № 4. – С. 25–34.

REFERENCES

1 **Idel'chik, I. E.** *Spravochnik po gidravicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance] / Pod red. M.O. Shtejnberga. 3-e id., pererab. i dop. Moscow : Mashinostroenie, 1992 – P. 672.

2 **Vel'kin, V. I., Shhelokov, A. M., Shheklein, S. E.** *Vozobnovlyаемая энергетика i energosoberezhenie* [Renewable energy and energy saving] : Ekaterinburg : Izdatvo Ural. Un-ta, 2020. – P. 312.

3 **Posokhin, V. N.** *Aerodinamika ventilyaczii.* [Aerodynamics of ventilation] – Moscow : AVOK-PRESS, 2008 – P. 214

4 **Ziganshin, A. M., Batrova, K. E., Gimadieva, G.A.** Chislennoe opredelenie kharakteristik techeniya cherez poslednee bokovoe otverstie v vozdukhovode [Numerical determination of flow characteristics through the last side opening in the air duct] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'svo.* –2018. – № 7. – P. 53–65.

5 **Makhmutova, S. M., Kalinin, A. A., Bot, R., Mosavi, A., Smagulova, K. K.** Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises [Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises] (Preprint, Acta Polytechnica Hungarica).

6 **Li A.** et al. Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes [Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes] // *Build. Simul.* 2014. – Vol. 7. – № 2. – P. 175–184.

7 **J. Chen** Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood [Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood] // *Ind. Health.* 56 – (2018). P. 278–284.

8 **Pietrowicz S., Kolasmiski P., Pomorski M.** Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method [Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method] // *Chem. Eng. Res.Des.* – 2018 – Vol. 132. – P. 627–643.

9 **Logachev, K. I.** et al. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods [A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods] // *Energy Build.* – 2018. – Vol. 173. – P. 58–70.

10 Bady`kova, L. N., Belyaeva, E. E., Gimadieva, G. A. Ispytanie ustanovki dlya issledovaniya energo`ffektivny`kh ventilyacionny`kh fasonny`kh detalej [Testing of an installation for the study of energy-efficient ventilation fittings] // Zhilishhnoe khozayajstvo i kommunal`naya infrastruktura. 2017 – № 4 – P. 25–34.

Поступило в редакцию 02.02.24.

Поступило с исправлениями 07.02.24.

Принято в печать 01.03.24.

*С. М. Махмуров, А. А. Калиев

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

02.02.24 ж. баспаға түсті.

07.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТАУ КӘСПОРЫНДАРЫНЫҢ АУА КУРАСЫНДАҒЫ ҚҰЫНДЫ АЙМАҚТАРДЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Мақаланың мақсаты – Ansys Fluent бағдарламасын пайдалана отырып, тау-кен кәсіпорындарының ауа қинасындағы құйынды аймақтарды зерттеу әдістерін салыстыру. Мақалада Ansys Fluent бағдарламалық пакетінің көмегімен қоңырауды орнату орнында пайда болған құйынды аймақтардың контурларын зерттеудің сандық және эксперименттік нәтижелері берілген. Жергілікті қарсылық коэффициенттерінің графикалық және аналитикалық өзгерістері дискретті құйынды әдіс және есептеу сұйықтығының динамикасы, сондай-ақ зерттеу нәтижелерін салыстыру арқылы алынды. Зерттеу нәтижелері профильдеу элементтеріне байланысты ауа ағыны бұралатын жерлерде жергілікті қарсылық коэффициенттерінің төмендеуін көрсетуі керек, бұл энергияны тұтынуды азайтуға және желдету және ауаны баптау жүйесінің тиімділігін арттыруға әкеледі. Әдістерді салыстыру профильдеу элементінің (розетканың) нақты дизайнын, оңтайлы ұзындығын, диаметрін және т.б. таңдауға көмектеседі. Дискретті толқындық әдіс ауадағы дыбыс толқындарын, акустикалық құбылыстарды

және атмосферадағы дыбыстың таралуын имитациялау үшін қолданылуы мүмкін, бұл әдіс ауаның әртүрлі объектілермен әрекеттесуін модельдеу үшін пайдалы болуы мүмкін, ал есептеу сұйықтығының динамикасы ауа ағындарын модельдеу үшін пайдаланылуы мүмкін. әртүрлі жағдайлар, мысалы, аэродинамикалық процестер, объектілердің айналасындағы ағындар, аэродинамикалық тежеу және басқа құбылыстар.

Кілтті сөздер: энергия үнелідеу, энергия тиімділігі, дискретті құйынды әдіс, есептеу сұйықтығының динамикасы, қоңырау.

M. S. Makhmutova*, A. A. Kaimin

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

Received 02.02.24.

Received in revised form 07.02.24.

Accepted for publication 01.03.24.

METHODS FOR STUDYING VORTEX ZONES IN THE AIR DUCT OF MINING ENTERPRISES

The purpose of the article is to compare methods for studying vortex zones in the air duct of mining enterprises using the Ansys Fluent program. The article presents numerical and experimental results of studying the outlines of vortex zones formed at the installation site of the bell using the Ansys Fluent software package. Graphical and analytical changes in local resistance coefficients were obtained using the discrete vortex method and computational fluid dynamics, as well as a comparison of research results. The results of the study should show a reduction in local resistance coefficients in places where the air flow swirls due to profiling elements, which will lead to a reduction in energy consumption and increase the efficiency of the ventilation and air conditioning system. Comparison of methods will help you select a specific design of the profiling element (trumpet), optimal length, diameter, etc. The discrete wave method can be applied to simulate sound waves in air, acoustic phenomena and sound propagation in the atmosphere, this method can

be useful in simulating the interaction of air with various objects, while computational fluid dynamics can be used to simulate air flows under various conditions , such as aerodynamic processes, flow around objects, aerodynamic braking and other phenomena.

Keywords: energy saving, energy efficiency, discrete vortex method, computational fluid dynamics, trumpet

**КЕРІ ҚАЙТАРЫЛДЫ
ОТӨЗБАНА / RETRACTED
30.04.2024**

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz