

УДК 697

Андрійчук В. Н.,
д.т.н. Соколов В. И.,
д.т.н. Андрійчук Н. Д.,
Шевцова Т. Е.

(ИСА и ЖКХ ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, vlad19790401@gmail.ru)

УЛУЧШЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВЫРАВНИВАНИЕМ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ПОТОКА РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

В работе рассмотрен вопрос улучшения аэродинамических характеристик вентиляторных установок за счёт выравнивания поля скоростей нагнетательного потока на выходе радиального вентилятора. Отмечено, что особенностью диффузора, подсоединенного к выходному патрубку вентилятора, является формирование неравномерного и несимметричного поля скоростей в начальном его сечении, что обуславливает увеличение потерь давления. Рассмотрены рекомендации по повышению эффективности диффузоров. Проведено численное моделирование турбулентного потока в конструктивных элементах, связывающих выходной патрубок и воздуховод, на основании чего рекомендована установка в несимметричном диффузоре составной выравнивающей пластины с разными углами наклона её частей. Улучшение аэродинамических характеристик вентиляторной установки при использовании составной выравнивающей пластины в несимметричном диффузоре подтверждено экспериментально. Даны рекомендации по выбору геометрических параметров размещения выравнивающей пластины в диффузоре, обеспечивающих максимальное повышение производительности радиального вентилятора. Использование вентиляторных установок с улучшенными аэродинамическими характеристиками позволяет повысить энергетическую эффективность вентиляционных систем.

Ключевые слова: вентиляционная система, радиальный вентилятор, диффузор, вентиляторная установка, производительность вентилятора.

Вентиляционные системы являются неотъемлемой частью зданий и сооружений, обеспечивающей состояние воздушной среды, благоприятной для пребывания в них людей и выполнения технологических процессов [1–3]. Величина затрат на проектирование, установку и наладку вентиляционных систем может составлять более 10–15 % от стоимости сооружений, а эксплуатационные расходы в ряде случаев превышают половину затрат от общих. Поэтому при разработке вентиляционных систем особое внимание уделяется их эксплуатационным характеристикам и, прежде всего, энергетической эффективности при соблюдении нормативных требований по поддержанию параметров микроклимата [4–6].

Повышение энергетической эффективности систем вентиляции во многом определяется улучшением аэродинамических

характеристик вентиляторных установок, увеличением их производительности, что достигается выравниванием поля скоростей нагнетательного потока радиального вентилятора на основе совершенствования конструктивных элементов соединения воздуховодов с выходными патрубками вентиляторов [2, 7, 8]. Данное обстоятельство в первую очередь относится к вентиляторным установкам с радиальными (центробежными) вентиляторами, на выходе из которых воздушный поток характеризуется неравномерным полем скорости, деформацией структуры и крупномасштабными завихрениями. Численные исследования и экспериментально полученные рекомендации [1, 2, 8] показывают, что для эффективной работы вентилятора в канале нагнетания за выходным патрубком вентилятора следует размещать хоро-

шо спроектированный диффузор, при этом существенно уменьшается динамическое давление вентилятора и уменьшается суммарное сопротивление системы.

На основании вышеизложенного актуальной и сложной *задачей* является совершенствование конструктивных элементов присоединения радиальных вентиляторов к вентиляционной системе. Оценка эффективности конструктивных элементов следует проводить с учетом неравномерности поля скоростей воздушного потока на выходе нагнетательного патрубка для рабочего диапазона аэродинамических характеристик вентилятора. Критерием эффективности выбора оптимальных геометрических параметров могут выступать потери давления на элементах присоединения выходного патрубка к вентиляционной системе, а также повышение производительности вентиляторной установки [1, 8].

Целью работы является улучшение аэродинамических характеристик вентиляторных установок выравниванием поля скоростей нагнетательного потока радиального вентилятора на основе совершенствования конструктивных элементов вентиляционных систем.

Как отмечено выше, улучшение аэродинамических характеристик вентиляторных установок достигается совершенствованием конструктивных элементов соединения воздухопроводов с выходными патрубками вентиляторов, в качестве которых могут быть использованы различного вида диффузоры. Исследование диффузоров с равномерным распределением скоростей на входе показывает, что для предупреждения больших потерь давления в них угол раскрытия должен быть небольшим $\alpha_0 \leq 14$ (рис. 1, а), поскольку дальнейшее увеличение этого угла способствует крупномасштабному турбулентному перемешиванию потока, отрыву пограничного слоя от стенки диффузора и связанному с этим сильному вихреобразованию, вследствие чего коэффициент потерь диффузора существенно возрастает. Вместе с тем значительное увеличение длины диф-

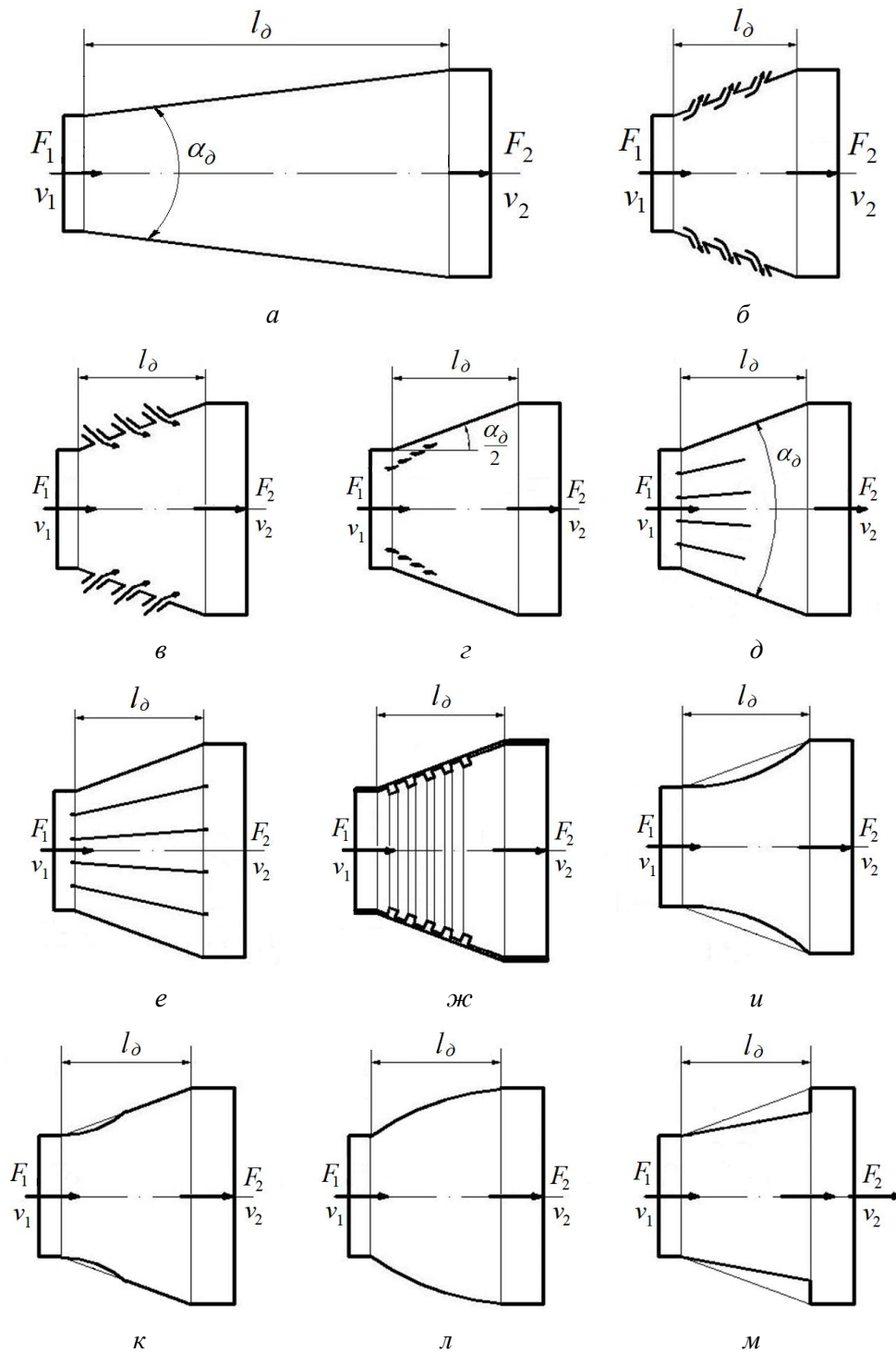
фузора (при небольших углах расширения) является неудобным с точки зрения монтажной целесообразности, поэтому вместо относительно длинных диффузоров применяют более короткие, хотя и с увеличенными потерями давления в них. Условия протекания потока в коротких диффузорах (с большими углами раскрытия) могут быть существенно улучшены, а сопротивление уменьшено, если предотвратить отрыв потока или ослабить вихреобразование. Основные способы и мероприятия, способствующие улучшению течения в диффузорах [1, 2, 4, 8], представлены на рисунке 1.

Как отмечалось нами ранее, особенностью диффузора, размещенного непосредственно после нагнетательного патрубка радиального вентилятора, является формирование неравномерного и несимметричного поля скоростей в начальном его сечении. Поэтому нагнетательный поток в диффузоре вентиляторной установки отличен от течений в диффузорах с равномерным распределением скорости.

Для дополнительного анализа структуры потока в конструктивных элементах, связывающих выходной патрубок и воздухопровод, проведено численное моделирование турбулентного течения в модуле Flow Simulation программного комплекса SolidWorks.

При описании турбулентного течения применялась стандартная k - ε -модель турбулентности, в основу которой положен анализ изменения кинетической энергии k турбулентного потока и скорости ее диссипации ε . Для расчета дополнительных турбулентных напряжений использовалась концепция турбулентной вязкости с определением кинематического коэффициента турбулентной вязкости ν_t по «связке» Прандтля — Колмогорова.

На рисунках 2–3 показаны двумерные графики с векторами скоростей (длина стрелок показывает величину скорости) и изолиниями, которые показывают линии и области одинаковых диапазонов результирующих скоростей (каждая область закрашена в разный цвет).



а) уменьшение угла раскрытия диффузора; б) отсос пограничного слоя; в) сдвиг пограничного слоя; г) установка направляющих лопаток (дефлекторов); д) установка укороченных разделяющих стенок; е) установка удлиненных разделяющих стенок; ж) оребрение внутренних поверхностей стенок диффузора; и) изогradientный криволинейный диффузор; к) криволинейный диффузор; л) предотвывный диффузор; м) ступенчатый диффузор

Рисунок 1 Способы повышения эффективности диффузоров

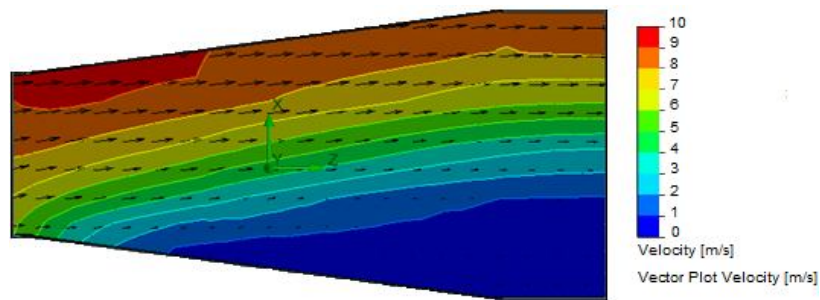


Рисунок 2 Распределение скоростей, изолиний и векторов скоростей в диффузоре с неравномерным полем скоростей в начальном сечении

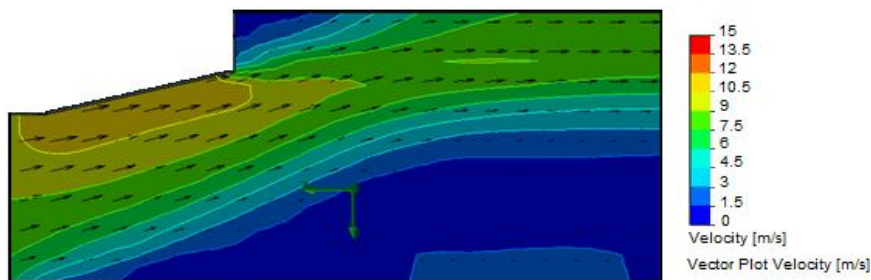


Рисунок 3 Распределение скоростей, изолиний и векторов скоростей в несимметричном ступенчатом диффузоре с неравномерным полем скоростей в начальном сечении

Численное моделирование убедительно показывает, что для выравнивания потока целесообразной является установка в диффузоре составной выравнивающей пластины с разными углами ее частей и погружением передней по потоку части в зону выходного патрубка вентилятора. И в большей степени данную рекомендацию следует применить в том случае, когда в силу монтажных требований в качестве конструктивного элемента соединения воздуха с выходным патрубком вентиляторов используется несимметричный диффузор.

На рисунке 4 показана составная выравнивающая пластина в несимметричном диффузоре. Благодаря разным углам наклона (α_1 и α_2 соответственно) составных частей пластины (рис. 4, а), их направления приближаются к линиям тока воздушного потока, поэтому уменьшается дополнительная деформация потока и вихреобразование на отдельных участках пластины. Это обеспечивает снижение потерь энергии воздушного потока в зоне выхода потока из радиального вентилятора и в зо-

не несимметричного диффузора. Снижение потерь энергии позволяет повысить напор и производительность радиального вентилятора, тем самым улучшив его аэродинамические характеристики.

Исследование аэродинамических характеристик вентиляторной установки с радиальным вентилятором при наличии составной выравнивающей пластины проведено на экспериментальном стенде, схема которого показана на рисунке 5. Здесь обозначены: 1 — радиальный вентилятор (В); 2 — входной патрубок вентилятора; 3 — всасывающий воздуховод (ВВ) с установленным коллектором (К) для измерения расхода воздуха; 4 — выходной патрубок вентилятора; 5 — несимметричный диффузор (НД); 6 — нагнетательный воздуховод (НВ), в котором установлен дроссель-клапан (ДК) для регулирования режимов работы вентилятора; 7 — составная выравнивающая пластина. На экспериментальной установке использован вентилятор ВР 80-75.1 № 2,5 с частотой вращения рабочего колеса $n = 1450$ об/мин.

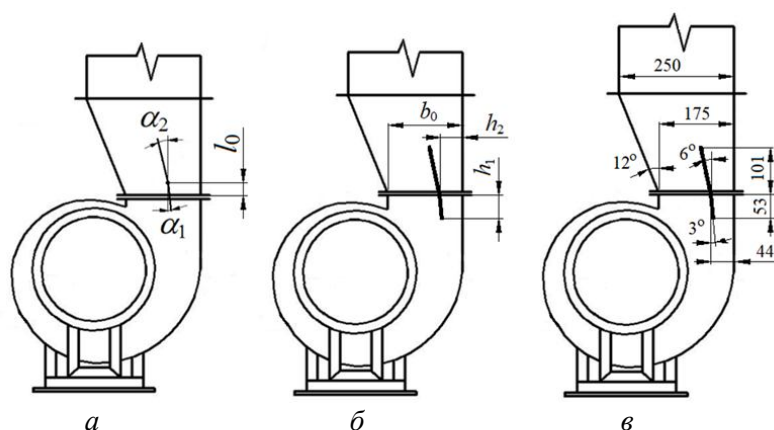


Рисунок 4 Составная выравнивающая пластина в несимметричном диффузоре

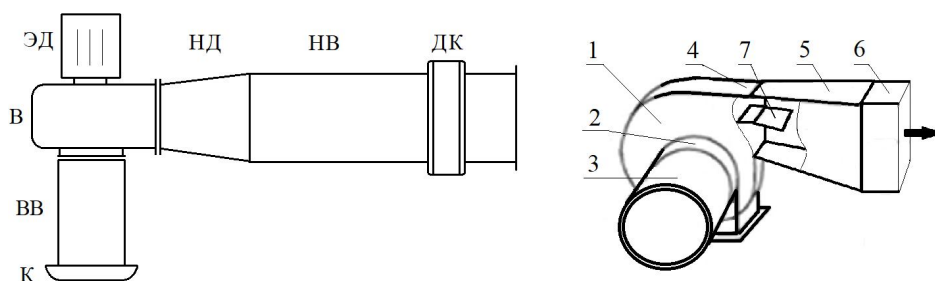
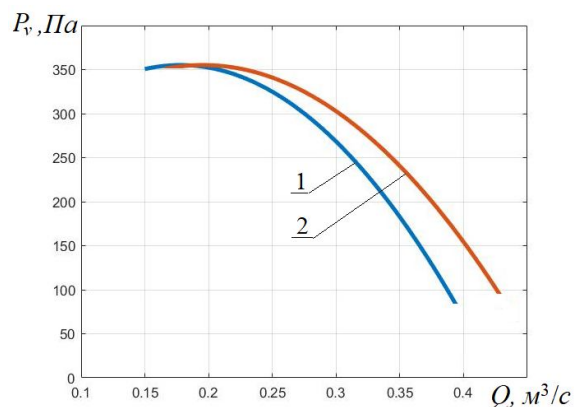


Рисунок 5 Схема экспериментальной установки

Экспериментальные исследования убедительно показывают повышение производительности вентиляторной установки с радиальным вентилятором при наличии составной выравнивающей пластины в несимметричном диффузоре. На рисунке 6 показано сравнение аэродинамических характеристик вентиляторной установки без пластины и с пластиной, размеры которой приведены на рисунке 4, в.

Экспериментальные исследования показали, что расположение точки изгиба составных частей выравнивающей пластины относительно плоскости соединения выходного патрубка вентилятора с несимметричным диффузором в диапазоне расстояний $l_0 = \pm 0,05b_0$ (рис. 4, а, б) оказывало влияние в диапазоне погрешности измерений. Поэтому в дальнейших исследованиях по разработке рекомендаций для установки выравнивающей пластины было принято оптимальным считать выполнение различных углов наклона частей пластины на линии присоединения

выходного патрубка к диффузору, т. е. положить $l_0 = 0$ (рис. 4, а). Следует отметить, что вышесказанное имеет место в зоне номинальных режимов работы радиального вентилятора и при угле раскрытия несимметричного диффузора $\alpha_0 \leq 14^\circ$.



1 — без пластины; 2 — при наличии составной выравнивающей пластины

Рисунок 6 Аэродинамические характеристики вентиляторной установки

При проведении экспериментальных исследований выполнялся анализ влияния на аэродинамические характеристики вентиляторной установки следующих геометрических параметров составной выравнивающей пластины (рис. 4, б):

1) α_1 — угла наклона участка выравнивающей пластины к нормали поперечного сечения в зоне выходного патрубка вентилятора;

2) α_2 — угла наклона участка выравнивающей пластины к нормальной оси поперечного выходного патрубка в зоне несимметричного диффузора;

3) безразмерной глубины вхождения передней части пластины в выходной патрубок:

$$\bar{h}_1 = h_1/b_0, \quad (1)$$

где h_1 — глубина вхождения передней (по отношению к воздушному потоку) части пластины в выходной патрубок радиального вентилятора; b_0 — размер стороны выходного патрубка, поперек которого устанавливается пластина;

4) безразмерного расстояния от прямой стенки несимметричного диффузора:

$$\bar{h}_2 = h_2/b_0, \quad (2)$$

где h_2 — безразмерное расстояние от прямой стенки несимметричного диффузора до точки изгиба составных частей выравнивающей пластины; h_2 — расстояние от стенки;

5) безразмерной суммарной длины пластины:

$$\bar{b} = b/b_0, \quad (3)$$

где b — суммарная длина наклонных частей составной выравнивающей пластины.

Экспериментальные исследования показали, что оптимальные геометрические параметры размещения выравнивающей пластины в несимметричном диффузоре, при которых наблюдается максимальное повышение производительности центробежного вентилятора, зависят от режима его работы, поскольку режим работы су-

щественно влияет на кинематику и структуру потока в конструктивных элементах вентиляторной установки.

Для зоны номинальных режимов работы вентилятора и безразмерной суммарной длины наклонных частей пластины $\bar{b} = 0,6 \dots 1$ оптимальными следует считать следующие диапазоны линейных размеров:

$$\bar{h}_1 = 0,25 \dots 0,35, \quad \bar{h}_2 = 0,2 \dots 0,3, \quad (4)$$

которые обеспечивают относительное повышение расхода центробежного вентилятора не менее 8 %.

Повышение производительности в большей степени достигается для более узкого диапазона линейных размеров

$$\bar{h}_1 = 0,25 \dots 0,3, \quad \bar{h}_2 = 0,25 \dots 0,3, \quad (5)$$

в котором для зоны максимального КПД вентилятора относительное повышение расхода составляет 10...12 %.

Результаты проведенных исследований показали, что в зоне максимального улучшения аэродинамических характеристик вентиляторной установки соответствуют следующие углы наклона составных частей выравнивающей пластины:

$$\alpha_1 \approx \alpha_0/4, \quad \alpha_2 \approx \alpha_0/2. \quad (6)$$

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос улучшения аэродинамических характеристик вентиляторных установок за счёт выравнивания поля скоростей нагнетательного потока на выходе радиального вентилятора. Отмечено, что особенностью диффузора, подсоединенного к выходному патрубку вентилятора, является формирование неравномерного и несимметричного поля скоростей в начальном его сечении, что обуславливает увеличение потерь давления. Поэтому для эффективной работы вентилятора в системе нагнетания за выходным патрубком вентилятора следует размещать хорошо спроектированный диффузор. Это позволяет существенно уменьшить динамическое давление вентилятора и снизить суммарное сопротивление

системы. Рассмотрены рекомендации по повышению эффективности диффузоров.

В среде программного комплекса SolidWorks в модуле Flow Simulation проведено численное моделирование турбулентного течения в конструктивных элементах, связывающих выходной патрубок и воздухопровод, на основании чего рекомендована установка в несимметричном диффузоре составной выравнивающей пластины с разными углами наклона её частей. Улучшение аэродинамических характеристик вентиляторной установки при использовании составной выравнивающей пластины в

несимметричном диффузоре подтверждено экспериментально. На основании экспериментальных исследований аэродинамических характеристик вентиляторной установки даны рекомендации по выбору геометрических параметров размещения выравнивающей пластины в диффузоре, обеспечивающих максимальное повышение производительности радиального вентилятора.

Использование вентиляторных установок с улучшенными аэродинамическими характеристиками позволяет повысить энергетическую эффективность вентиляционных систем.

Библиографический список

1. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация [Текст] / Я. А. Гусенцова, К. Н. Андрийчук, А. А. Коваленко [и др.]. — Луганск : ВНУ им. В. Даля, 2005. — 206 с.
2. Свистунов, В. М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства [Текст] / В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. — СПб. : Политехника, 2007. — 423 с.
3. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems [Text] / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering. ICIE 2020. Lecture notes in mechanical engineering. — Cham : Springer, 2021. — Vol. 2. — P. 1182–1190.
4. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices [Text] / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. — Cham : Springer, 2023. — P. 1012–1022.
5. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems [Text] / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. — Cham : Springer, 2019. — Vol. 63. — P. 278–283.
6. Sokolov, V. Measurement of Impurity Concentration in Turbulent Flows of Ventilation Systems Channels [Text] / V. Sokolov, O. Krol // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2096. — P. 012102.
7. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems [Text] / V. Sokolov // Proceedings of the 7th international conference on industrial engineering. ICIE 2021. Lecture notes in mechanical engineering. — Cham : Springer, 2022. — Vol. 2. — P. 725–731.
8. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И. Е. Идельчик. — М. : Машиностроение, 1975. — 554 с.

© Андрийчук В. Н.

© Соколов В. И.

© Андрийчук Н. Д.

© Шевцова Т. Е.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПГСА
ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,
д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТИ Харламовым Ю. А.**

Статья поступила в редакцию 02.02.2023.

Andrijchuk V. N., Doctor of Technical Sciences Sokolov V. I., Doctor of Technical Sciences Andrijchuk N. D., Shevtsova T. E. (IBA and HCS of LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, vlad19790401@gmail.com)

IMPROVING THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE FAN UNIT BY EQUALIZING THE VELOCITY FIELD OF THE RADIAL FAN DISCHARGE FLOW

The paper considers the issue of improving the aerodynamic characteristics of fan installations by equalizing the velocity field of the injection flow at the outlet of the radial fan. It is noted that the peculiarity of the diffuser connected to the fan air exhaust case is the formation of an uneven and asymmetric velocity field in its initial section, which causes an increase in pressure losses. Recommendations for improving the efficiency of diffusers are considered. Numerical simulation of the turbulent flow in the structural elements connecting the outlet fitting and the air flue has been carried out, on the basis of which it is recommended to install a composite leveling plate with different angles of inclination of its parts in an asymmetric diffuser. The improvement of the aerodynamic characteristics of the fan unit when using a composite leveling plate in an asymmetric diffuser has been confirmed experimentally. Recommendations are given on the choice of geometric parameters of the alignment plate placement in the diffuser, providing maximum performance improvement of the radial fan. The use of fan installations with improved aerodynamic characteristics allows to increase the energy efficiency of ventilation systems.

Key words: ventilation system, radial fan, diffuser, fan installation, fan performance.