

УДК 697.921.47

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

С.Д. Галюзин, Н.В. Лобикова, О.М. Лобикова, А.С. Галюзин

APPLICABILITY OF USING MODERN ENERGY SAVING VENTILATION SYSTEMS FOR CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

S.D. Galyuzhin, N.V. Lobikava, V.M. Lobikava, A.S. Galyuzhin

Аннотация. Разработана методика оценки эффективности применения рекуператоров в системах вентиляции в стоимостном выражении при строительстве и реконструкции зданий. Методика учитывает не только утилизацию тепла в рекуператоре, но и его потери из-за увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной системы при установке рекуператора. Показана схема вентиляционной системы с такой установкой вентиляторов, когда эффективность рекуператора является наибольшей. Показана перспективность применения современных систем вентиляции, содержащих рекуператор, из-за низкого срока окупаемости.

Ключевые слова: система вентиляции; строительство; рекуператор; качество воздуха; энергосбережение; окупаемость.

Abstract: The method for evaluating the effectiveness of the use of heat exchangers in ventilation systems in monetary terms during the construction and reconstruction of buildings has been developed. The technique takes into account not only the heat recovery in the heat exchanger, but also its loss due to the increase in the aerodynamic resistance of the ventilation system when installing the heat exchanger. Shows a diagram of the ventilation system with the installation of fans, when the effectiveness of the recuperator is the highest. The prospects of application of modern ventilation systems containing a recuperator due to the low payback period are shown.

Key words: ventilation system; construction; heat exchanger; indoor air quality; energy saving; payback.

Введение

Качество воздуха помещения (IAQ – indoor air quality) – это одна из важнейших характеристик производственного и жилого помещения, от которой напрямую зависит состояние здоровья человека и его работоспособность [1]. Под качеством воздуха понимают такой микроклимат помещения, при нахождении в котором индивид ощущает себя комфортно и одновременно с этим не происходит нарушений его естественных физиологических процессов. Понятие комфортность, как субъективный фактор, может отличаться для различных категорий людей, так как это связано с их образом жизни, привычками, состоянием здоровья. Показатели же естественных физиологических процессов являются более объективными.

Среди основных характеристик качества воздуха в производственном помещении можно выделить его физические параметры, химический и биологический составы. Для организации требуемого микроклимата в помещении, особенно в производственном, обеспечивающего сохранение здоровья человека и его продуктивную трудовую деятельность, необходимо наличие эффективно действующей системы вентиляции.

Вопросами создания микроклимата помещений строители занимались с глубокой древности. Токсичность дыма, выделяющегося при горении угля, была описана ещё Аристотелем (384 г. до н. э.) и Галеном (161 г. н. э.). Археологические находки в Древ-

нем Египте подтверждают применение знаний практического направления для организации вентиляции при обработке камня и строительстве пирамид, в Древнем Риме – при организации систем отопления домов знати и бань. В Средние века, когда Европа столкнулась с эпидемиями чумы, была установлена связь между возникновением заболеваний и появлением «болезнетворного запаха», а также скоплением большого количества людей в помещениях. В результате среди прогрессивной общественности появились рекомендации проветривать помещения для снижения уровня заболеваемости.

В начале XVII века в связи с обнаружением «особого газа», возникающего при горении и вызывающего смерть живых существ, английский король Карл I, издал указ, регламентирующий строительство жилых помещений с высотой не менее 3 метров, и предписывающий оборудовать их высокими окнами для уменьшения в составе воздуха веществ от сжигания топлива. Позднее известный французский химик Антуан Лоран Лавуазье дал название этому веществу – углекислый газ, и определил зависимость между физическим состоянием человека и избытком его в воздухе помещения.

Основы нормирования при проектировании вентиляции зданий и сооружений связывают с именем английского инженера Томаса Тредгольда, занимавшегося горным делом в начале XIX века. Он определил требуемый объем воздуха на одного человека – $7,2 \text{ м}^3$, который давал возможность обеспечить его нормальную жизнедеятельность. В период Крымской войны (1853-1855) разрабатывается новый норматив – 50 м^3 на одного раненого, с целью предупреждения возникновения у солдат болезней, не сопряженных с ранениями. Позднее, в 1914 году, указанный норматив при поддержке ASHRAE (Американское общество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) перешел в ранг закона и просуществовал до конца XX века. Только возникновение проблем с нехваткой энергии привело к необходимости его пересмотра и снижения до 27 м^3 на человека. В конце 1980-х годов принят стандарт ASHRAE / ANSI 62-1989 (Системы вентиляции для приемлемого качества воздуха внутри помещений) [2], получивший одобрение большинства стран.

Первые попытки описания естественного перемещения воздушных масс сделаны М. В. Ломоносовым в 1740 году в научном труде «О вольном движении воздуха в рудниках примеченном» [3]. Он создал также первый прибор – анемометр, используемый для измерения скорости и направления ветра.

Следующий этап в становлении вентиляции – применение механических систем для воздухообмена. Первые попытки эксплуатации таких систем датируются началом XVIII века. Для обеспечения свежим воздухом английских парламентариев был использован осевой вентилятор, приводимый в действие паровой машиной. Этот механизм оказался настолько удачным, что прослужил практически сто лет. Далее создавались его модификации с другими типами двигателей.

В 1754 году Леонард Эйлер сформулировал основы расчетов воздухообмена, которые используются и в настоящее время. А в 1832 году русский военный инженер А. А. Саблуков для очистки воздуха в Чагирском руднике применил центробежный вентилятор с ручным приводом, который приводился в действие двумя рабочими. Данное устройство гарантировало подачу $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. Вентилятор А. А. Саблукова имел вид цилиндрического кожуха, в который воздух принудительно забирался с двух сторон, внутри находилось рабочее колесо с четырьмя прямыми лопастями. Механизм был оценен промышленниками и использовался на вредных производствах и в трюмах кораблей. Начало XIX века (1815 г.) ознаменовано еще одним весомым этапом в становлении вентиляции: французом Жаном Шабаннесом получен патент на «метод регулировки температуры, а также кондиционирования воздуха в жилых и прочих зданиях» [4].

В 1882 году немецкий инженер Филипп Диель, работая в Нью-Йорке, изобрел автономный потолочный вентилятор, с электродвигателем, получивший имя изобретателя – «люстра Диеля». С этого времени вентиляторы стали массово использоваться в промышлен-

ности и в быту. А в 1902 году американец Уиллис Карриер изобрел «холодильную машину» – прототип современного кондиционера. Вначале прибор использовался для снижения повышенной влажности в типографии Бруклина, негативно сказывающейся на качестве печати. А буквально через год в Кельнском театре была установлена «холодильная машина», что способствовало росту его популярности среди зрителей в жаркое время года благодаря создаваемому аппаратом микроклимату помещения.

В 1924 году «холодильная машина» Уиллиса Карриера, установленная в крупном магазине Детройта, вызвала небывалый по тем временам приток покупателей, которым пришелся по душе всегда свежий прохладный воздух в торговом зале [4].

Эффективные системы вентиляции воздуха, применяемые в производственных зданиях, должны гарантировать удаление микроорганизмов, запахов, углекислого газа, пыли, токсичных и раздражающих веществ, подачу чистого воздуха, эстетичность, небольшие габариты, компактные коммуникации. Кроме того, они должны быть экономичными и обеспечивать максимально возможную утилизацию тепла удаляемого из помещения воздуха [5].

Целью статьи является разработка методики оценки целесообразности установки в системе вентиляции рекуператора, позволяющего утилизировать тепло удаляемого воздуха, а также определение срока окупаемости проекта.

В качестве примера рассмотрим систему вентиляции производственного цеха, в котором подачи приточного воздуха $L_{пр}$ и удаляемого из цеха воздуха $L_{уд}$ равны и составляют $50 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч} = 13,89 \text{ м}^3/\text{с}$.

Определение потерь тепла

Предположим, что вентиляционная система работает в зимний период при температурах приточного воздуха $T_{пр} = -20 \text{ }^\circ\text{C} = 253,15 \text{ К}$ и удаляемого воздуха $T_{уд} = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 291,15 \text{ К}$. Определим внутреннюю удельную энергию приточного $e_{пр}$ и удаляемого $e_{уд}$ потоков воздуха, проходящих через живое сечение в единицу времени:

$$e_{пр} = L_{пр} \cdot c_{пр} \cdot T_{пр}, \quad (1)$$

$$e_{уд} = L_{уд} \cdot c_{уд} \cdot T_{уд}, \quad (2)$$

где $c_{пр}$ и $c_{уд}$ – средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении, соответственно, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$: $c_{пр} = c_{уд} = 1,3 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ [6, с. 457].

Считаем, что давление в цехе при подаче и удалении воздуха практически не меняется, поэтому при расчетах используем средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении.

Подставим в зависимости (1) и (2) соответствующие значения и получим: $e_{пр} = 4,57 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с} \approx 1,1 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$; $e_{уд} = 5,03 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с} \approx 1,2 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$. Тогда разница удельных энергий будет равна $\Delta e = e_{уд} - e_{пр} = 0,1 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$. Это означает что каждую секунду в окружающую среду выбрасывается $0,1 \cdot 10^3 \text{ Гкал}$. За восьмичасовую смену ($28,8 \cdot 10^3 \text{ с}$) при постоянно работающей вентиляции будет выбрасываться $\Delta e_{см} = 2,88 \text{ Гкал}$. Как правило, отопление цехов, расположенных в городе, осуществляется от центральной городской теплотрассы. При стоимости 1 Гкал в 2018 году, равной 81,42 BYN (белорусских рублей после деноминации 2017 г.), получим, что за смену потери из-за нерационального построения системы вентиляции будут составлять 234,5 BYN. За месяц (22 рабочих дня при односменной работе) такие потери составят 5159 BYN. Такие месячные потери сопоставимы с месячной зарплатой бригады в 4...5 рабочих. Данная проблема в значительной мере решается установкой в вентиляционную установку рекуператора.

Снижение потерь тепла при установке рекуператора

Рекуператор (от лат. *recuperator* – получающий обратно, возвращающий) – теплообменник, позволяющий передать тепло от удаляемого в окружающую среду загрязненного воздуха к приточному воздуху, поступающему из атмосферы. В нем теплообмен

между приточным и удаляемым воздухом осуществляется непрерывно через разделяющую их стенку. Рекуператоры различают по схеме относительного движения приточного и удаляемого воздуха – противоточные, перекрестноточные, прямоточные и др. Конструктивно они бывают трубчатые, пластинчатые, ребристые и т.д.

Все элементы вентиляционной установки располагаются в едином корпусе 8 (рис.). В установке использован перекрестноточный рекуператор 3. Нагреватель 6 предназначен для подогрева приточного воздуха (при необходимости). Жалюзи 7 закрываются при неработающей вентиляционной установке для предотвращения попадания холодного воздуха из атмосферы в цех. Фильтры 4 и 5 обеспечивают очистку удаляемого и приточного воздуха, как правило, от твердых частиц и пыли.

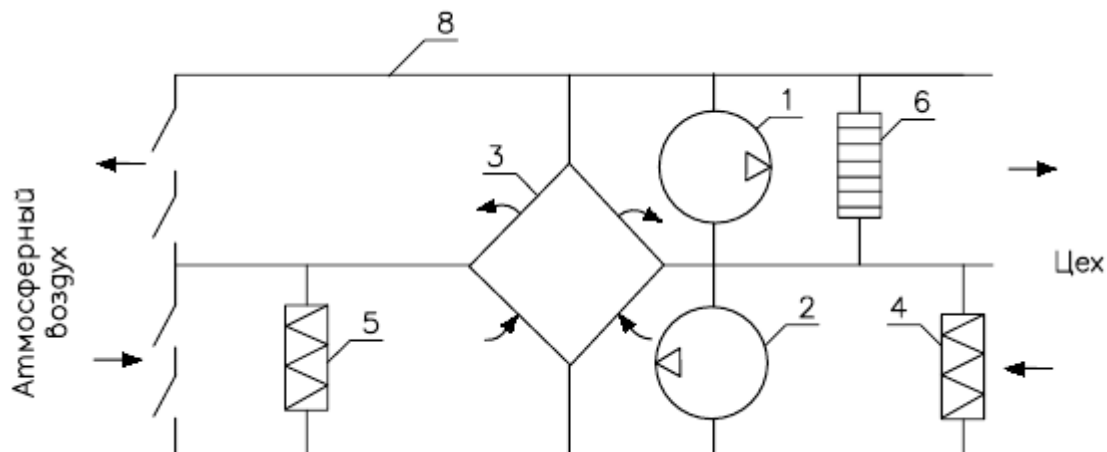


Рисунок – Схема вентиляционной установки с рекуператором: 1-приточный вентилятор; 2- вытяжной вентилятор; 3-рекуператор; 4, 5- фильтры; 6-нагреватель; 7- жалюзи; 8-корпус установки

В качестве примера рассмотрим эффективность установки широко применяемого в Европе рекуператора типа Klingenburg. Основные температурные показатели данного рекуператора взяты из технической характеристики [7] и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные температурные показатели рекуператора Klingenburg

Точка измерения температуры	Температура воздуха, °С (К)	
	Приток	Удаление
Вход	-20 (253,15)	+18 (255,15)
Выход	+4 (277,15)	-6 (267,15)

С помощью зависимостей (1) и (2) определим внутреннюю удельную энергию приточного $e_{\text{пр.рк}}$ и удаляемого $e_{\text{уд.рк}}$ воздуха после прохождения рекуператора. После подстановки соответствующих значений получим: $e_{\text{пр.рк}}=5,0 \cdot 10^6$ Дж/с $\approx 1,2 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с и $e_{\text{уд.рк}}=4,82 \cdot 10^6$ Дж/с $\approx 1,15 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с. Тогда $\Delta e_{\text{рк}}=e_{\text{уд.рк}}-e_{\text{пр.рк}}=0,05 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с. За 8-часовую смену ($28,8 \cdot 10^3$ с) при постоянно работающей вентиляции с рекуператором будет выбрасываться $\Delta e_{\text{рк-см}}=1,44$ Гкал, т. е. потери тепловой энергии будут в 2 раза меньше, чем без рекуператора.

Вместе с тем, при установке рекуператора увеличивается аэродинамическое сопротивление вентиляционной установки. Потери давления Δp на пневмолиниях притока и удаления в рекуператоре примерно равны и составляют $\Delta p_{\text{пр}}=\Delta p_{\text{уд}}=300$ Па [7]. Определим мощность потерь в рекуператоре $P_{\text{пот}}$ с помощью известной зависимости [8, с. 287–295]. При этом учтем, что $L_{\text{пр}}=L_{\text{уд}}$:

$$P_{\text{пот}} = 2 L_{\text{пр(уд)}} \cdot \Delta p_{\text{пр(уд)}} \quad (3)$$

Подставив соответствующие значения в зависимость (3) получим, что $P_{\text{пот}}=8334$ Дж/с=8,334 кВт. За смену ($28,8 \cdot 10^3$ с) потери составят 66,7 кВт·ч. При расчетах потерь электрической энергии при установке рекуператора необходимо учесть КПД вентилятора. КПД современных вентиляторов составляет 85...88 % [9]. В дальнейших расчетах примем среднее значение $\eta_v=0,865$. С учетом этого затраты электрической энергии будут больше и составят 77,1 кВт·ч за 8-часовую смену. При стоимости 1кВт·ч электроэнергии в промышленности в 2018 году, равной 0,24048 BYN, на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре будет дополнительно затрачиваться 18,54 BYN.

Проанализируем физическую сущность потерь мощности в самом рекуператоре. С точки зрения аэродинамики рекуператор представляет собой аэродинамическое сопротивление, при преодолении которого из-за увеличенного внутреннего трения в воздухе происходит нагрев этого воздуха. Данное явление учтено производителем рекуператора в температурных показателях таблицы 1.

Из-за наличия потерь в самом вентиляторе 10,4 кВт·ч электрической энергии за смену в обоих вентиляторах будет превращаться в тепловую энергию. При этом будут нагреваться электродвигатель вентилятора, рабочее колесо и корпус вентилятора, а также воздух при воздействии на него лопастей вентилятора. При компоновке вентиляционной установки, приведенной на рисунке, удаляемый воздух будет дополнительно нагреваться от вентилятора 2 до рекуператора и примерно половину данной тепловой энергии отдавать приточному воздуху. На пневмолинии притока вентилятор 1 установлен после рекуператора, поэтому все тепло от него будет отдаваться приточному воздуху (при соответствующем утеплении стенок корпуса вентиляционной установки). Данный анализ означает, что около $\frac{3}{4}$ тепловой энергии (7,8 кВт·ч за смену), образующейся от работы вентиляторов 1 и 2, будет отдаваться приточному воздуху, поступающему в цех. С учетом того, что 1Гкал= $1,16 \cdot 10^3$ кВт·ч, получим, что за смену приточному воздуху будет дополнительно отдано $6,72 \cdot 10^{-3}$ Гкал тепла, а в стоимостном выражении – 0,547 BYN. Тогда действительные потери на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре будут равны $18,54 - 0,547 \approx 18$ BYN.

Итак, потери энергии в стоимостном выражении при использовании вентиляции без рекуператора за 8-часовую смену составят 234,5 BYN, а при установке рекуператора – 135,25 BYN.

Таким образом, при установке рекуператора экономия на приобретение тепловой энергии, расходуемой на отопление цеха, за 8-часовую смену будет составлять 99,25 BYN. В холодный период года в месяц при двухсменной работе экономия будет достигать 4367 BYN.

Оценка срока окупаемости проекта

Следует отметить, что установка рекуператора ведет к удорожанию вентиляционной установки. Определим срок окупаемости (табл. 2).

Таблица 2 – Оценка срока окупаемости проекта

Статья расходов, показатель	Значение показателя
Стоимость рекуператора Klingenburg	8400 Евро / 20220 BYN
Затраты на усложнение корпуса установки	170 Евро / 409 BYN
Экономия на отопление за месяц при применении рекуператора	1813 Евро / 4367 BYN
Срок окупаемости	4,73 месяца

Срок окупаемости проекта рассчитан исходя из того, что все это время (4,73 месяца) будут низкие температуры атмосферного воздуха, что характерно для северных районов Рос-

сии. Для Беларуси срок окупаемости проекта будет несколько большим – примерно один отопительный сезон.

Заключение

Разработана методика оценки эффективности применения рекуператоров в системах вентиляции промышленных зданий в стоимостном выражении. Методика учитывает потери энергии из-за увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной системы при установке рекуператора. В холодное время года установка рекуператора позволяет достичь экономии при двухсменной работе более 4,3 тыс. ВУН в месяц (почти 2 тыс. евро). Срок окупаемости затрат при этом не превышает отопительного сезона.

Потому при строительстве и реконструкции зданий целесообразно проектировать системы вентиляции с устройствами рекуперации тепла. При дальнейшем совершенствовании систем вентиляции и применении в них встроенных тепловых насосов [10] данная методика может быть дополнена без существенных изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Требования инженеров к стандартам вентиляционных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=70 (дата обращения 10.11.2018).
2. Формирование современной среды завтрашнего дня [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Intepretations/62-89-20.pdf>. (дата обращения 10.11.2018).
3. Ломоносов М.В. О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lomonosov.niv.ru/lomonosov/nauka/po-fizike-i-himii-1738-1746/science-11.htm> (дата обращения 10.11.2018).
4. Пономарев С.В. Краткая история вентиляции // СОК, 2014 № 10 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/kratkaya-istoriya-ventilyacii> (дата обращения 02.12.2018).
5. Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Мурашко В.П. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Москва: Евроклимат, 2008. 504 с.
6. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1975. 469 с.
7. Каталог оборудования Klingenburg. Рекуперация тепла пластинчатыми теплообменниками. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825> (дата обращения 01.12.2018).
8. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. Москва: Стройиздат, 1987. 414 с.
9. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. О высоком КПД вентиляторов и эффективности вентиляционных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid. (дата обращения 01.12.2018).
10. Пат. 10437 РБ МПК F 24F 3/147. Универсальная установка для вентиляции и кондиционирования воздуха / А.В. Евдокимов, Д.С. Галюжин, С.Д. Галюжин, А.С. Галюжин, 2014 .Бюл. №3.

REFERENCES

1. *Trebovaniya inzhenerov k standartam ventilyacionnyh sistem* [Requirements of engineers to the standards of ventilation systems]. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=70 (date accessed: 10.11.2018).

2. *Formirovanie sovremennoj sredy zavtrashnego dnya* [Formation of the modern environment of tomorrow]. Available at: <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Intepretations/62-89-20.pdf>. (date accessed: 10.11.2018).
3. Lomonosov M.V. *O vol'nom dvizhenii vozduha, v rudnikah primechenom* [About free movement of air in mines the noticed]. Available at: <http://lomonosov.niv.ru/lomonosov/nauka/po-fizike-i-himii-1738-1746/science-11.htm> (date accessed: 10.11.2018).
4. Ponomarev S.V. *Kratkaya istoriya ventilyacii* [Brief history of ventilation]. SOK, 2014. No.10. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/kratkaya-istoriya-ventilyacii> (date accessed: 02.12.2018).
5. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Murashko V.P. *Sistemy ventilyacii i kondicionirovaniya. Teoriya i praktika* [Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice]. Moscow: Evroklimat Publ., 2008. 504 p.
6. Nashchokin V.V. *Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha: ucheb. posobie dlya vuzov* [Technical thermodynamics and heat transfer: textbook for universities]. Moscow: Higher school Publ., 1975. 469 p.
7. *Katalog oborudovaniya Klingenburg. Rekuperaciya tepla plastinchatymi teploobmennikami*. [Equipment catalog Klingenburg. Heat recovery by plate heat exchangers]. Available at: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825> (date accessed: 01.12.2018).
8. Al'tshul' A.D., ZHivotovskij L.S, Ivanov L.P. *Gidravlika i aehrodinamika: uchebnik dlya studentov vuzov* [Hydraulics and aerodynamics]. Moscow: Strojizdat, 1987. 414 p.
9. Karadzhi V.G., Moskovko YU. G. *O vysokom KPD ventilyatorov i ehffektivnosti ventilyacionnyh sistem* [On high fan efficiency factor and the efficiency of ventilation systems]. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid. (date accessed: 01.12.2018).
10. Evdokimov A.V., Galyuzhin D.S., Galyuzhin S.D., Galyuzhin A.S. Patent 10437 RB MPK F 24F 3/147. *Universal'naya ustanovka dlya ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha*. [Universal installation for ventilation and air conditioning.], 2014, Byul. No.3.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галюжин Сергей Данилович

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, кандидат технических наук, доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»,

E-mail: serg.galujin@yandex.ru

Galyuzhin Sergey Danilovich

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, Candidate of Technical Science, assistant professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Belarusian Academy of Natural Science, Associate Professor of the Department «Life Safety»,

E-mail: serg.galujin@yandex.ru

Лобикова Надежда Васильевна

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, магистрант, кафедра «Промышленное и гражданское строительство»,

E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru

Lobikava Nadzeya Vasiliyeuna

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, master student, Department of Industrial and Civil Engineering,

E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru



Лобикова Ольга Михайловна

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,

E-mail: olg.lobikova@yandex.ru

Lobikava Volha Mihaylauna

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, Senior Lecturer, Department of Industrial and Civil Engineering,

E-mail: olg.lobikova@yandex.ru

Галюжин Александр Сергеевич

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»,

E-mail: serg.galujin@yandex.ru

Galyuzhin Aleksandr Sergeevich

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, Candidate of Technical Science, assistant professor, Associate Professor of the Department «Life Safety»,

E-mail: serg.galujin@yandex.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:
212000, Республика Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43, каб. 532. Лобикова О. М.
+375 (33) 628 83 73