

## Обеспечение социальных объектов чистым воздухом в городах с токсичной атмосферой

**Мухамед Нургалиевич КОКОВЕВ**, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, kbagrostroy@yandex.ru  
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Кабардино-Балкарская Республика, 360004 Нальчик, ул. Чернышевского, 173

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной теме – обеспечению чистым воздухом объектов социальной инфраструктуры в условиях загрязненной городской атмосферы. Данная проблема рассмотрена на примере города Норильска как наиболее неблагоприятного города России по токсичным выбросам в атмосферу. В Норильске находится горно-металлургический комбинат «Норникель», его промышленные выбросы вредят здоровью жителей, особенно опасны они для детей всех возрастов. На комбинате невозможно быстро поменять существующие технологии на новейшие чистые методы получения цветных металлов. Кроме огромных материальных затрат, планомерный переход на новые технологии в цветной металлургии потребует много лет. В этой связи предложена техническая концепция по разработке мероприятий для осуществления подгачи в детские сады, школы и больницы чистого воздуха из зон, расположенных далеко за жилыми массивами. Предполагается применение легких труб из плотной высокопрочной технической ткани с полимерным покрытием, устойчивым к климатическим воздействиям. Данное техническое решение позволит снизить воздействие токсичных выбросов на здоровье детей.

**Ключевые слова:** горно-металлургический комбинат «Норникель», токсичные выбросы в атмосферу, легкие трубы из плотной технической ткани, здоровье детей, подгачи чистого воздуха, социальные объекты

**Для цитирования:** Кокоев М. Н. Обеспечение социальных объектов чистым воздухом в городах с токсичной атмосферой // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 62–67.  
doi: 10.33622/0869-7019.2022.08.62-67

### PROVIDING SOCIAL FACILITIES WITH CLEAN AIR IN CITIES WITH A POLLUTED ATMOSPHERE

**Muhamed N. KOKOEV**, kbagrostroy@yandex.ru

Kabardino-Balkar State University named after H. M. Berbekov, ul. Chernyshevskogo, 173, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik 360004, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to an urgent topic – providing clean air to social infrastructure facilities in a polluted urban atmosphere. This problem is considered on the example of the city of Norilsk, which is among the ten most unfavorable cities in Russia and the world in terms of toxic emissions into the atmosphere. Norilsk is home to the Mining and Metallurgical Plant, "Nor Nickel", its industrial emissions harm the health of residents, they are especially dangerous for children of all ages. At the plant, it is impossible to quickly change existing technologies for the latest clean methods for producing non-ferrous metals. In addition to huge material costs, a systematic transition to new technologies in non-ferrous metallurgy will require many years. In this regard, a technical concept has been proposed for the development of measures for the supply of clean air to kindergartens, schools and hospitals from areas located far beyond residential areas. It is supposed to use light pipes made of dense high-strength technical fabric with a polymer coating that is resistant to climatic influences. This technical solution will make it possible to reduce the impact of toxic emissions on children's health.

**Keywords:** mining and metallurgical plant "Nor Nickel", toxic emissions into the atmosphere, light pipes made of dense technical fabric, children's health, clean air supply, social facilities

**For citation:** Kokoev M. N. Providing Social Facilities With Clean Air in Cities With a Polluted Atmosphere. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2022, no. 8, pp. 62–67. (In Russ.)  
doi: 10.33622/0869-7019.2022.08.62-67

#### Введение

В мире существует только два крупных города, расположенных выше Полярного круга на 300 км. Первый – это Мурманск, у которого есть незамерзающий порт, экономическая основа города [1].

В Мурманске нет никакой металлургии, поэтому здесь воздух относительно чистый.

Второй крупный город – Норильск, находится в двух тысячах километров восточнее. Климат здесь очень суровый. Воздух по промышленным выбросам часто

бывает самым «грязным» в России.

Дело в том, что в Норильске расположен Заполярный филиал горно-металлургического комбината (ГМК) «Норникель». Компания делится на три дивизиона – Норильский, Кольский и Забай-

кальский. Доля компании в мировой добыче, %: палладия — 44, никеля — 22, платины — 15, кобальта — 14. ГК «Норникель» обеспечен сырьем на 75 лет [2]. Кроме того, ведется добыча меди, золота и других драгоценных и редких металлов.

Обычно полагают, что «Норникель» получает основной доход от продажи золота, платины и никеля. Однако оказывается, что 41 % всего дохода компании дает палладий, который ранее был дешевле золота и платины. Но автомобильные фирмы, следуя экологическим требованиям, стали ставить на автомобили нейтрализаторы выхлопных газов, в которых используют катализатор из палладия (на дизелях используют платину).

Добываемый на комбинате кобальт стал занимать еще более важное место, поскольку он является обязательным компонентом литий-ионных аккумуляторов. Без этих аккумуляторов невозможно выполнение одного из важных пунктов «зеленого» энергетического перехода — обеспечение производства электромобилей [3]. Кобальт подорожал почти в 2 раза за последние 1,5 года [4]. Кроме того, это основной компонент в ударопрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сплавах [5].

В состав Норильского городского округа входят сам Норильск (Центральный р-н, более 100 тыс. жителей), р-ны Талнах и Кайеркан, небольшой жилой массив Оганер, Снежногорск в 150 км от Норильска. В Снежногорске находится Усть-Хантайская ГЭС.

Жилой массив Центрального района в процессе застройки оказался зажатым между двумя конгломератами предприятий цветной металлургии. Как смотрится воздух над Норильском в дни «черного неба», показано на рис. 1. Не следует буквально по-



Рис. 1. «Черное небо» над Норильском  
(URL: <https://www.centrattek.ru/media/cache/45/32/45323506639eb64bc7a223f9ded1271e.jpg>)

нимать термин «черное небо», поскольку газовые выбросы часто оказываются только окрашенными в желтый и бурый цвет или вообще имеют вид плотной дымки. Например, монооксид азота — бесцветный ядовитый газ с удушающим действием. Оксиды азота, поглощая солнечный свет, способствуют образованию фотохимического сильного тумана (смога).

В 16 км к западу от центра Норильска находится р-н Кайеркан. Примерно посередине на пути от Норильска к Кайеркану работает Надеждинский металлургический завод (НМЗ) по производству анодной меди, из которой электролитическим рафинированием получают катодную медь повышенной чистоты. Этот завод — основное предприятие Заполярного филиала ГК «Норникель». В НМЗ входят три производства — гидрометаллургическое, пирометаллургическое и производство кислорода.

При ветре со стороны НМЗ выбросы в атмосферу различных оксидов серы и азота покрывают жилой массив в Кайеркане (рис. 2). Талнах расположен в 25 км к северо-востоку от центра Норильска, возле которого находится месторождение полиметаллических руд. В настоящее время медно-никелевые руды — основная

сырьевая база Заполярного филиала ГК «Норникель». Добывают руду подземным способом, а обогатительная фабрика в Талнахе производит никелевый и медный концентраты для НМЗ. Для воздушного бассейна фабрика относительно безвредное предприятие, поэтому и дышится в Талнахе гораздо легче.

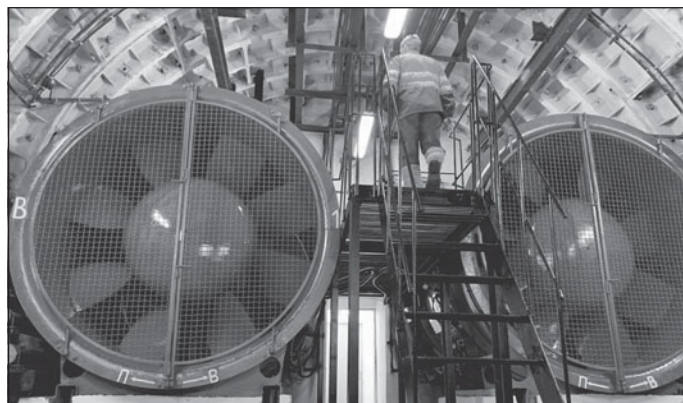
Далее приведем сокращенный перечень токсичных веществ, которые присутствуют в атмосфере Норильска.

1. *Монооксид азота (NO<sub>2</sub>)* образуется при температуре 1200...1300 °С, не раздражает дыхательные пути и поэтому человек может его не почувствовать. Он действует на нервную систему человека, связывает гемоглобин крови и вызывает кислородное голодание. При контакте NO<sub>2</sub> с влагой в организме образуются азотистая и азотная кислоты, которые разъедают стенки альвеол легких. Диоксид азота оказывает отрицательное воздействие на сердце и коронарные сосуды [6].

2. *Оксид серы (SO<sub>2</sub>)* — бесцветный газ с резким запахом. Образуется при переработке содержащих серу руд и при сжигании топлива с примесью серы. Смог значительно увеличивает число заболеваний дыхательных путей — вызывает охриплость,



**Рис. 2.** Кайеркан зимой при ветре со стороны НМЗ (URL: <https://euro-glush.ru/wp-content/uploads/image01045.jpg>)



**Рис. 3.** Осевые вентиляторы для метро (URL: <https://cdn.tvc.ru/pictures/o/395/202.jpg>)

бронхиты, эмфиземы легких, делает вероятным развитие астмы [7]. Кроме того, провоцирует сердечно-сосудистые дисфункции, неврологические расстройства, снижает иммунитет и делает людей более уязвимыми к Covid-19 и другим вирусным инфекциям [8].

3. *Сероводород* — газ, тяжелее воздуха, весьма токсичное вещество, имеет неприятный запах. Может скапливаться в подвалах и на открытом воздухе в непроветриваемых низинах. При длительном воздействии у человека теряется чувствительность к запаху сероводорода, что очень опасно [9].

4. По токсичным выбросам — *хлору, аэрозолям тяжелых металлов, диоксиду селена, серооксиду углерода, фтористому водороду* в Норильске ведется постоянный мониторинг [10].

В этой связи цель статьи — разработка технической концепции для осуществления подачи чистого воздуха на объекты социальной инфраструктуры из зон, расположенных далеко за пределами жилых массивов.

#### Обоснование предлагаемой концепции

Больше всего промышленные выбросы в атмосферу вредят здоровью жителей Норильска и Кайеркана. Но особенно токсичные вещества пагубно влияют на

здоровье детей всех возрастов. Ведь в Норильском округе более сотни детских садов и школ, которые посещают десятки тысяч детей. Общественность много лет борется за чистый воздушный бассейн над Норильским промышленным районом. Однако нельзя в один момент поменять все известные технологии на новейшие методы и новое оборудование, которые в мире существуют, поскольку, помимо огромных материальных затрат, переход на новые технологии в цветной металлургии потребует много лет. Необходимо спроектировать и построить десятки новых цехов и участков, разработать конструкторскую документацию, изготовить и смонтировать в цехах новое оборудование. Произвести его наладку, испытать и переобучить весь персонал от технологов до рабочих.

Поэтому, не ожидая наступления эры совершенно безвредных технологий в цветной металлургии, можно уже сейчас выполнить технические мероприятия для того, чтобы осуществить подачу в социальные объекты чистого воздуха из зон, расположенных далеко за жилыми массивами. Это сразу снизит воздействие токсичных выбросов на здоровье детей.

За много лет на плане городского округа уже обозначена ди-

слокация всех источников токсичных выбросов и их характеристики — токсичность, объемы и частота выбросов, а также расположение детских садов, школ и больниц. Наложение этих данных на рельеф местности и розу ветров сделает возможным выбор за городом потенциальных точек забора чистого воздуха для подачи к объектам первой очереди. Для этого предполагается применение легких труб из плотной технической ткани. Диаметр тканевых труб от точки забора воздуха до входа в жилой массив — 1200–1800 мм. Далее для разводки к социальным объектам применяют трубы меньшего диаметра. Существуют высокопрочные технические ткани с полимерными покрытиями, устойчивыми к климатическим воздействиям [11–13].

Производятся технические ткани с морозостойкостью до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  на лавсановой основе с покрытием ПВХ, плотностью 0,44–1,2 кг/м<sup>2</sup> и прочностью на разрыв по утку 15 кН/м и выше. Известны также цельные длинномерные рукавные ткани диаметром до 900 мм с высокопрочной капроновой нитью [14]. Проведенные расчеты показывают, что прочность этих тканей позволит им работать в трубопроводах диаметром до 1800 мм и при рабочем давлении воздуха до

5 кПа без внешнего усиления сеткой из полимерного шнура.

Для монтажа легкого тканевого трубопровода за городом используют короба из тонкостенного железобетона, которые монтируют прямо на грунт. От входа в жилой массив до социальных объектов применяют навесные легкие трубопроводы. Крепление трубопровода производят на наружных стенах зданий на уровне второго—третьего этажа, как это принято в некоторых северных городах из-за вечной мерзлоты. Тканевая труба большого диаметра имеет значительную парусность. Поэтому устраивая переходы между зданиями и над дорогами, нужно учитывать, что ветры в Норильске часто имеют скорость 30–40 м/с. Видимо, такие переходы необходимо помещать в металлический решетчатый каркас.

Во время сильного ветра район хорошо вентилируется естественным образом и вентиляторы не работают — давления воздуха внутри трубы нет. Для исключения повреждения труб из плотной технической ткани сильным ветром нужно принять конструктивные меры на стадии проектирования.

Нередко токсичные выбросы от источника идут широкой полосой, иногда захватывая пространство шире жилого массива. К счастью, как правило, промышленные города с токсичной атмосферой не занимают многие километры на местности. Расстояние от Центрального р-на Норильска до зон, где можно разместить точки для забора чистого воздуха, составляет от 1,5 до 5 км. Осевой вентилятор, используемый в метро, притом не самый мощный, развивает давление до 3,5 кПа. Увеличив диаметр воздухопровода выше 1200 мм и уменьшив расход воздуха до 25–40 м<sup>3</sup>/с, длину воздухопровода можно увеличить до 4–5 км.

Точки забора чистого воздуха размещают на удалении от жилого района в 4–6 разных местах так, чтобы при изменении направления ветра обеспечить забор воздуха от точек, находящихся в данный момент в чистой зоне. Автоматическую работу таких точек можно обеспечить, используя датчики направления ветра и компьютерную программу, которая должна учитывать расположение точек выброса вредных веществ, точек забора чистого воздуха, расположение социальных объектов и падение давления воздуха в разводящей сети воздухопроводов.

Согласно СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» в аудиториях и учебных классах для обеспечения свежим воздухом школьников норма воздухообмена должна быть из расчета на одного человека 20 м<sup>3</sup>/ч. Значит, в типовую школу, например на 33 класса (825 мест), нужно подавать воздуха 16 500 м<sup>3</sup>/ч, или 4,6 м<sup>3</sup>/с.

Потери давления на трение в воздухопроводе диаметром 1200 мм и длиной 2 км до разводки к группе объектов с расходом 40–50 м<sup>3</sup>/с считали по полуэмпирической формуле Дарси-Вейсбаха [15]. Потери давления на трение на дистанции 2 км равны 1520 Па, а на преодоление местных сопротивлений рекомендуется брать 5–10 % от потерь на трение. В нашем случае взято 10 %, тогда общие потери на длине 2 км составляют 1670 Па. Потери давления в воздухопроводах на трассах разводки внутри жилого массива берем в среднем 500 Па. На входе в систему вентиляции школы желательно иметь избыточное давление не менее 100–130 Па. В итоге многолопастной вентилятор в точке забора воздуха должен развивать давление около 2300 Па.

Приняв коэффициент полезного действия (КПД) вентилятора равным 0,7 [16], найдем потребляемую мощность одной точкой забора чистого воздуха в объеме 50 м<sup>3</sup>/с при давлении подачи 2300 Па. По расчету механическая мощность на валу вентилятора равна 165 кВт. Потребляемая из сети мощность зависит от КПД двигателя. Для асинхронных двигателей более 100 кВт КПД выше 92 %.

Норильский промышленный район достаточно обеспечивается электроэнергией. Общая установленная мощность электростанций АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» равна 2246 МВт. Поэтому потребление суммарной мощности 3–4 МВт от 15–25 работающих вентиляторов не перегрузит энергосистему.

В точках забора чистого воздуха монтируют вентиляторы в специальных типовых бетонных киосках. На рис. 3 показаны осевые вентиляторы для метро. Такие же по конструкции, но меньшей мощности, предполагается использовать для подачи чистого воздуха к социальным объектам. Для примера приводим характеристики вентиляторов производства ФРГ для метро [17], поскольку такие же, но меньшей мощности и стоимости, желательно использовать для подачи воздуха из чистых зон к социальным объектам города:

- мощность электродвигателя < 500 кВт;
- давление воздуха < 3,5 кПа;
- расход воздушных масс < 200 м<sup>3</sup>/с;
- длина корпуса 1,4–2 м;
- диаметр рабочего колеса 1,4–2,2 м;
- повышенный КПД.

Вентиляция объектов с подачей воздуха из чистых зон в большинстве случаев требует модернизации вентиляции социальных объектов. Вновь проектируе-

мые школы, особенно за рубежом, стали первым типом зданий, в которых начали применять локальные рекуператорные системы. Понятие «рекуператор» в вентиляции означает приточно-вытяжную вентиляцию с переносом тепла от исходящих потоков на входящие. В модернизированной системе вентиляции чистый воздух планируют подводить к локальным рекуператорам с помощью разводящих наружных воздухопроводов. Конечно, рекуператорные теплообменные аппараты могут быть установлены как элемент централизованной вентиляции, так и в виде местных отдельных блоков, прикрепленных к стене или в оконном проеме. При модернизации системы вентиляции с рекуперацией нужно учитывать, что эти устройства чувствительны к влиянию ветра и температуры [18,19], поэтому рекуперация тепла не всегда эффек-

тивна. Учитывая крайне низкие температуры зимой на севере, если не принять меры, существует риск замерзания теплообменников-утилизаторов.

### Выводы

1. Больше всего промышленные выбросы в атмосферу, особенно оксиды серы и азота, а также сероводорода, вредят здоровью жителей Норильска и Кайеркана. Но особенно токсичные вещества пагубно влияют на здоровье детей всех возрастов. В Норильском административном округе более сотни детских садов и школ, которые посещают десятки тысяч детей.

2. На ГМК «Норникель» нет возможности быстро поменять существующие технологии на новейшие чистые способы получения цветных металлов. Кроме огромных материальных затрат, переход на новые технологии в

цветной металлургии займет много лет. Для этого необходимо спроектировать и построить десятки новых цехов и участков, разработать конструкторскую документацию, изготовить и смонтировать в цехах новое оборудование.

3. Предложена техническая концепция, посредством которой уже сейчас можно выполнить технические мероприятия для осуществления подачи в социальные объекты чистого воздуха из зон, расположенных далеко за жилыми массивами, что сразу снизит воздействие токсичных выбросов на здоровье детей. Дается техническое обоснование предложенной концепции.

*Автор статьи выражает благодарность доктору технических наук Виктору Тихоновичу Федорову за консультацию и обсуждение данной работы.*

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Caesar L., McCarthy G. D., Thornalley D. J. R. Current atlantic meridional overturning circulation weakest in last millennium [Текущая атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция – самая слабая за последнее тысячелетие]. *Nature Geoscience*, 2021, vol. 14, pp. 118–120.
2. Обзор «Норникеля»: крупнейший в мире производитель никеля и палладия. URL: <https://journal.tinkoff.ru/news/review-gmkn/> (дата обращения: 20.12.2021).
2. Overview of Norilsk Nickel: the world's largest producer of nickel and palladium. Available at: <https://journal.tinkoff.ru/news/review-gmkn/> (accessed 20.12.2021). (In Russ.).
3. *Electric vehicles and the effect on the metal market* [Электромобили и их влияние на рынок металлов]. Available at: <https://www.generalkinematics.com/blog/electric-vehicles-and-the-effect-on-the-metal-market/> (accessed 12.01.2022).
4. *Сандерсон Г.* Электромобили спровоцировали борьбу за металлы. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2017/10/25/739339-elektromobili-borbu-metalli> (дата обращения: 12.01.2022).
4. *Sanderson H.* Electric cars provoked the fight for metals. Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2017/10/25/739339-elektromobili-borbu-metalli> (accessed 12.01.2022). (In Russ.).
5. Nathal M. V., Maier R. D., Ebert L. J. The Influence of cobalt on the microstructure of thenickel-base superalloy mar-M247 [Влияние кобальта на микроструктуру суперсплава на основе никеля Mar-M247]. *Metallurgical Transactions*, 1982, vol. 13A, no. 10, p. 1775.
6. Dessy C., Ferron O. Pathophysiological roles of nitric oxide: in the heart and the coronary vasculature [Патологическая роль оксида азота: в сердце и коронарных сосудах]. *Current Medical Chemistry – Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry*, 2004, vol. 3, no. 3, pp. 207–216. doi:10.2174/1568014043355348
7. Ruijin Li, Xiaojing Kou, lingjing Tian et al. Effect of sulfur dioxide on inflammatory and immune regulation in asthmatic rats [Влияние диоксида серы на воспалительную и иммунную регуляцию у моделей астматических крыс]. *Chemosphere 112C*, 2014, no. 10, pp. 207–216. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.04.065
8. Javed A., Aamir F. et al. The potential impact of smog spell on humans' health amid COVID-19 rages [Потенциальное влияние смога на здоровье человека в условиях эпидемии COVID-19]. *Int Environ Res Public Health*, 2021, no. 18(21), pp. 11408. doi: 10.3390/ijerph182111408
9. Hirsch A. R., Zavala G. Long-term effects on the olfactory system of exposure to hydrogen sulphide [Эффект длительного воздействия на обонятельную

- систему сероводорода]. *Occup Environ Med*, 1999, no. 56(4), pp. 284–287. doi: 10.1136/oem.56.4.284
10. Климат и экология Норильска.  
URL: <https://euro-glush.ru/centr/norilsk-oblast-kakaya.html> (дата обращения: 18.01.2022).
  10. Climate and ecology of Norilsk.  
Available at: <https://euro-glush.ru/centr/norilsk-oblast-kakaya.html> (accessed 18.01.2022). (In Russ.).
  11. Кокоев М. Н. Технические ткани в строительстве // Строительные материалы. 1998. № 1. С. 24–26.
  11. Kokoev M. N. Technical fabrics in construction. *Stroitel'nye materialy*, 1998, no. 1, pp. 24–26. (In Russ.).
  12. Федоров В. Т., Кокоев М. Н. Новые материалы для строительства градирен электростанций // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2012. Вып. 16. Том 2. С. 158–164.
  12. Fedorov V. T., Kokoev M. N. New materials for the construction of cooling towers of power plants. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk RAASN*, 2012, vol. 16, iss. 2, pp. 158–164. (In Russ.).
  13. Moritz K., Barthel R. Transparente architektur – bauen mit ETFE-Folien [Прозрачная архитектура – здания из пленки ETFE]. *Detail*, 2002, no. 12, pp. 1616–1620.
  14. Дыховичный Ю. А., Жуковский Э. З., Ермолов В. В. [и др.]. Современные пространственные конструкции. М. : Высшая школа, 1991. 543 с.
  14. Dyhovichny Yu. A., Zpukovskiy E. Z., Ermolov V. V. et al. *Sovremennye prostranstvennyye konstrukcii* [Modern spatial structures]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 543 p. (In Russ.).
  15. Калицун В. И., Дроздов Е. В. Основы гидравлики и аэродинамики. М. : Стройиздат, 1980. 247 с.
  15. Kalicun V. I., Drozdov E. V. *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Fundamentals of hydraulics and aerodynamics]. Moscow, Strojizdat Publ., 1980. 247 p. (In Russ.).
  16. Ивановский И. Г. Шахтные вентиляторы. Владивосток : ДВГТУ, 2003. 196 с.
  16. Ivanovskij I. G. *Shahtnye ventilyatory*. Vladivostok, DVGTU Publ., 2003. 196 p. (In Russ.).
  17. Available at: <https://oventilyatsii.ru/ustrojstvo-ventilyacii-v-metro.html> (accessed 18.01.2022). (In Russ.).
  18. Ghida B. D. Heat recovery ventilation for energy-efficient buildings: design, operation and maintenance [Вентиляция с рекуперацией тепла для энергосбережения. Здания: проектирование, эксплуатация и техническое обслуживание]. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, vol. 9, iss.1, pp. 2278–3025.
  19. Zender-Swiercz E. A review of heat recovery in ventilation [Обзор рекуперации тепла в вентиляции]. *Energies*, 2021, no. 14(6), p. 1759. doi: 10.3390/en14061759