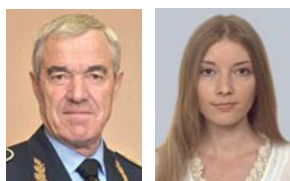


Использование теплоизбытков в машинных помещениях станции метрополитена

В. И. ПЕТРОВ, начальник электромеханической службы МУП «Новосибирский метрополитен»,
почетный железнодорожник, почетный строитель РФ,

А. Ю. ПЬЯНКОВА, аспирант лаборатории рудничной аэродинамики Института горного дела СО РАН



Предлагаемое авторами решение позволяет рационально осуществлять кондиционирование воздуха в помещениях станций метрополитена: охлаждать помещения с теплоизбытками и отапливать помещения, в которых требуется подогрев воздуха. Суть метода состоит в использовании канальной сплит-системы, наружные блоки которой устанавливаются в приточные вентиляционные камеры вместо водяных калориферов.

Многие метрополитены России находятся на территориях с резко-континентальным климатом. При таких метеорологических условиях эксплуатация подземных сооружений мелкого заложения носит сезонный характер. В течение длительного периода (более 6 месяцев) для поддержания требуемых микроклиматических параметров служебных помещений станций требуется подогрев приточного вентиляционного воздуха в системах вентиляции и использование систем отопления.

При отрицательных температурах атмосферного воздуха на глубине до 2,2 м [1] из-за низких теплоаккумулирующих способностей массива окружающих грунтов происходит промерзание верхних строительных конструкций станций метрополитенов мелкого заложения. Это приводит к снижению температуры воздуха в служебных помещениях.

При этом на станциях метрополитена, как правило, есть помещения, в которых независимо от периода года присутствует избыточное количество тепла за счет тепловыделений от различного оборудования и механизмов (машинный зал эскалаторов, тягово-понижительная подстанция, электрощитовые). Рационально было бы использовать это избыточное тепло для подогрева внутреннего воздуха в тех помещениях, которые должны отапливаться.

Рассмотрим задачу перераспределения тепла на примере станции метрополитена, оборудованной эскалаторными спусками.

Согласно положениям [2; 3], машинные помещения эскалаторов сооружаются под полом вестибюля метрополитена и относятся к категории подземных сооружений, где отвод тепла стенами, полом и потолком затруднен в связи с отсутствием контакта данного помещения с окружающим грунтом через наружные ограждения. В помещении находятся механизмы (приводы, электродвигатели, электрические панели и другое оборудование), приводящие в движение эскалаторы, которые выделяют в процессе своей работы большое количество теплоты. В жаркие летние дни температура в машинных помещениях может превышать нормированное СНиП значение 27°C [3]. Удаление теплоизбытков из этих помещений принято считать задачей местной (общеобменной) вентиляции.

Для охлаждения помещений с избыточным количеством тепла (далее будем называть их расчетными помещениями) предлагается использовать канальную сплит-систему, внутренний блок которой будет установлен непосредственно в машинном помещении эскалаторов, а наружный блок —

в приточной вентиляционной камере вместо водяного калорифера. Наружный блок предназначен для подогрева воздуха, который будет поступать в остальные (нерасчетные) помещения станции метрополитена. В этом случае канальная сплит-система работает по принципу теплового насоса и транспортирует тепловую энергию от источника высокопотенциального тепла (машинное помещение) к источнику низкогопотенциального тепла (остальные служебные помещения станции).

В качестве примера рассмотрим, как работала бы данная система на станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена. На сегодняшний день для поддержания микроклимата в служебных помещениях станции используются четыре приточные вентиляционные камеры 2ПК и водяная система отопления. В качестве приборов отопления установлены чугунные секционные радиаторы «Сантехпром БМ».

Приточные камеры 2ПК10 без оросительной секции обслуживают три системы нерасчетных служебных помеще-

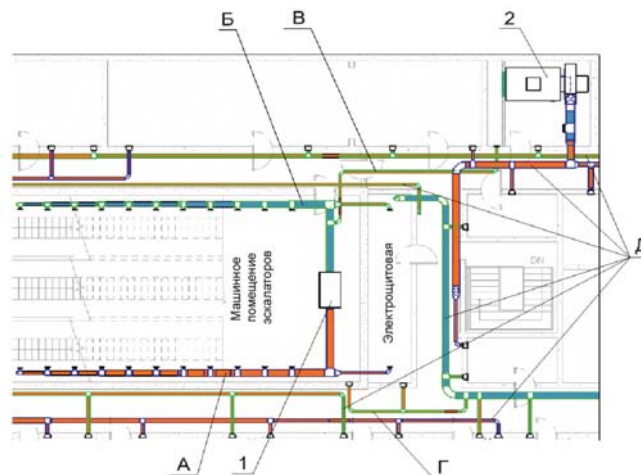


Рис. 1. Фрагмент уровня машинного зала эскалаторов станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена с предлагаемой канальной сплит-системой:

1 — внутренний блок канальной сплит-системы; **2** — приточная вентиляционная камера 2ПК10 (система П2) с теплообменником в виде одного из наружных блоков канальной сплит-системы; **А** — ветка воздуховодов, раздающая охлажденный воздух в помещения; **Б** — ветка воздуховодов, забирающая нагретый воздух из помещений; **В** — подача тоннельного воздуха (10% от общего расхода воздуха кондиционера); **Г** — удаление воздуха из расчетных помещений (10% от общего расхода воздуха кондиционера); **Д** — воздуховоды приточно-вытяжных систем нерасчетных помещений.

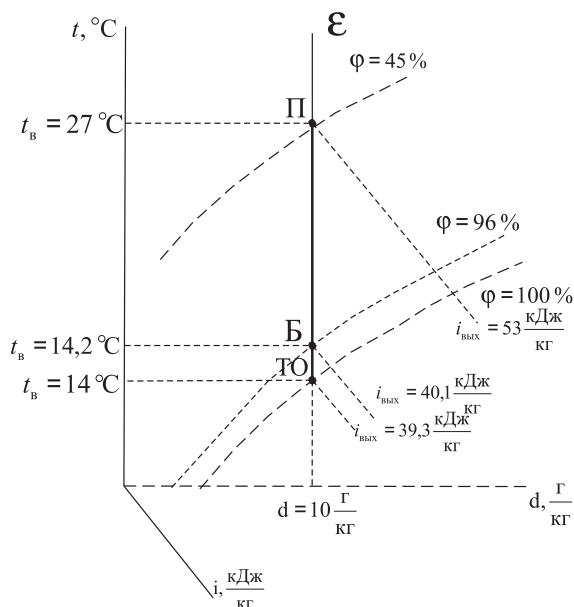


Рис. 2. i-d-диаграмма изменения тепловлажностного состояния воздуха во внутреннем блоке фреоновой кондиционера для расчетных помещений:
П — точка, характеризующая параметры воздуха в помещении; **Б** — точка, характеризующая параметры воздуха на выходе из кондиционера; **ТО** — точка, характеризующая параметры воздуха на поверхности теплообменника (испарителя); ε — луч процесса; φ — относительная влажность воздуха (%); $t_B, t_{\text{пов}}$ — энтальпия (кДж/кг) и температура (°С) воздуха в помещении; $i_{\text{вых}}, t_{\text{вых}}$ — энтальпия (кДж/кг) и температура (°С) воздуха на выходе из кондиционера; $i_{\text{пов}}, t_{\text{пов}}$ — энтальпия (кДж/кг) и температура (°С) воздуха на поверхности теплообменника (испарителя).

ний: П1 (расход воздуха $L = 3090 \text{ м}^3/\text{ч}$), П2 (расход воздуха $L = 2700 \text{ м}^3/\text{ч}$), П3 (расход воздуха $L = 3111 \text{ м}^3/\text{ч}$). Приточная камера 2ПК10 с оросительной секцией обслуживает систему расчетных помещений (машинное помещение эскалаторов и прилегающее к нему помещение электрощитовой) П4 (расход воздуха $L = 3382 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В качестве тягодутьевых машин применены приточные и вытяжные вентиляционные агрегаты общепромышленного исполнения. Воздухозабор осуществляется из тоннеля, по которому поезд приходит на станцию, а выброс воздуха из вытяжных систем вентиляции — в тоннель, по которому поезд уходит со станции.

Для удаления теплоизбытков из расчетных помещений станции «Октябрьская» (9295 Вт в машинном помещении эскалаторов, 680 Вт в помещении электрощитовой) вместо системы П4 необходимо установить внутренний блок канальной сплит-системы (фреоновой кондиционера), а в приточные отопительно-вентиляционные камеры систем П1, П2 и П3 нерасчетных помещений вместо водяных калориферов встроить наружные блоки (рис. 1).

Процесс обработки воздуха во внутреннем блоке кондиционера [4] для расчетных помещений представлен на рис. 2.

В режиме охлаждения для оценки эффективности фреоновых кондиционеров применяется холодильный коэффициент EER (Energy Efficiency Ratio — коэффициент энергетической эффективности), равный отношению холодопроизводительности кондиционера к мощности, потребляемой компрессором. Чем выше величина EER , тем выше энергетическая эффективность кондиционера. В процессе работы компрессор фреоновой кондиционера нагревается и передает фреону дополнительное тепло. Именно поэтому кондиционеры всегда производят больше тепла, чем холода.

Для кондиционера Ballu MHA-48HR, обслуживающего расчетные помещения, согласно каталогу [5], коэффициент

$EER = 2,74$. Следовательно, по уравнению (1) вычислим потребляемую мощность этого кондиционера:

$$N = \frac{Q_x}{EER}, \quad (1)$$

где Q_x — полезная или эффективная мощность (количество отведенного тепла в единицу времени), Вт;
 N — мощность, затрачиваемая на привод установки (потребляемая мощность), Вт.

Откуда

$$N = \frac{Q_x}{EER} = \frac{9975 \text{ Вт}}{2,74} = 3,64 \text{ кВт},$$

С учетом уравнения (2) тепловая мощность, удаляемая наружными блоками кондиционера, составит не 9975 Вт, а

$$Q_T = Q_x + N, \quad (2)$$

где Q_T — тепловая мощность, удаляемая наружными блоками фреоновой кондиционера, Вт.

Откуда

$$Q_T = Q_x + N = 0,975 + 3,64 = 13,61 \text{ кВт}.$$

После того как найдена требуемая мощность канальной сплит-системы, обеспечивающей одновременно и кондиционирование расчетных помещений станции, и воздушное отопление (совмещенное с вентиляцией), нерасчетных помещений, необходимо рассчитать требуемые мощности существующих на данный момент систем поддержания микроклимата и сравнить их.

Во-первых, в приточных вентиляционных камерах нерасчетных помещений 2ПК10 систем П1, П2, П3 (3 шт.) установлены водяные калориферы, которые уже не понадобятся при использовании канальной сплит-системы. Во-вторых, приточная вентиляционная камера расчетных помещений П4 и соответствующая ей система воздуховодов также не пригодятся. В-третьих, не нужен будет вентилятор вытяжной системы В4, обслуживающей расчетные помещения, так как основной забор воздуха из расчетных помещений будет осуществляться внутренний блок кондиционера, а 10% общего расхода воздуха расчетных помещений ($L = 242 \text{ м}^3/\text{ч}$) будет удаляться вытяжной системой В2.

В приточной вентиляционной камере П4 и в вытяжной системе В4 установлены вентиляторы ВЦ 4-75, исп.1, № 5. Их производительность составляет $L_в = 3720 \text{ м}^3/\text{ч}$, величина полного давления $P_в = 200 \text{ Па}$, частота вращения рабочего колеса — 1000 об./мин., $\eta_в = 0,8$. Вентиляторы установлены на одном валу с электродвигателем мощностью $N = 0,37 \text{ кВт}$.

Определим требуемую мощность на валу электродвигателя:

$$N = \frac{L_в \cdot P_в}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_в}, \quad (3)$$

Следовательно, потребляемая мощность каждого из вентиляторов ВЦ 4-75, исп. 1, № 5 систем П4 и В4 составляет, согласно (3),

$$N = \frac{L_в \cdot P_в}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_в \cdot \eta_n} = \frac{3720 \cdot 200}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 1} = 0,25 \text{ кВт},$$

В приточных вентиляционных камерах нерасчетных помещений (П1, П2 и П3) установлены калориферы КСк3-6. Затраты тепловой мощности на нагрев приточного тоннельного воздуха по СНиП [6] определяются согласно (4). В холодный период года (ХП) тоннельный воздух будет подогреваться до температуры $t_в = 20,5 \text{ °C}$, в переходный период (ПП) — до температуры $t_в = 220 \text{ °C}$ [7].

$$Q_{вент} = 0,28 \cdot L \cdot \gamma_в \cdot (t_в - t_m), \quad (4)$$

¹ Данные температурные значения приводятся по результатам мониторинга параметров микроклимата 2009–2010 гг.

где L — расход приточного вентиляционного воздуха нерасчетных помещений, м³/ч;
 $\gamma_{в}$ — плотность внутреннего воздуха помещений, $\gamma_{в} = 1,2$ кг/м³;
 $t_{в}$ — температура воздуха в помещении, °С;
 $t_{т}$ — температура тоннельного воздуха ($t_{т} = 16^{\circ}\text{C}$ в ХП, $t_{т} = 20^{\circ}\text{C}$ в ПП [7]).

Тепловая мощность, удаляемая наружными блоками фреонового кондиционера Ballu MHA-48HR, составляет 13,61 кВт (2). Согласно расчетам по (4) в *таблице 1* приведены затраты тепловой мощности на нагрев приточного тоннельного воздуха для вентиляции нерасчетных помещений системами П1, П2 и П3.

Преимуществом сплит-систем (фреоновых кондиционеров) перед общеобменной вентиляцией также является экономичность. Например, для перемещения 1 кВт·ч тепловой энергии необходимо затратить всего 0,2–0,35 кВт·ч электроэнергии.

Проведем расчет экономической эффективности предложенной канальной сплит-системы для поддержания микроклимата в служебных помещениях станции «Октябрьская».

В *таблице 2* представлены результаты расчета затрат энергии оборудованием систем поддержания микроклимата — как существующих, так и предлагаемой канальной сплит-системы. Рассмотрены затраты энергии только того оборудования, которое будет заменено в случае принятия решения об использовании канальной сплит-системы для обеспечения микроклимата в служебных помещениях станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена.

Таким образом, при указанной общей стоимости оборудования (*табл.3*) срок окупаемости кондиционера составит 7 месяцев.

Проведенные расчеты позволяют сделать следующие выводы:

- избыточного количества тепла, удаляемого кондиционером при охлаждении воздуха в машинном помещении эскалаторов и прилегающем к нему помещению электропитательной станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена, достаточно для отопления остальных помещений вестибюля;
- с помощью канальной сплит-системы кондиционирования воздуха осуществляется передача тепловой энергии из охлаждаемых помещений с большими избытками теплоты в помещения, нуждающиеся в подогреве внутреннего воздуха;

Таблица 1. Утилизация тепловыделений, производимая канальной сплит-системой в результате охлаждения расчетных служебных помещений

Система вентиляции нерасчетных помещений	Период года	Затраты тепловой мощности на нагрев приточного воздуха, $Q_{\text{вент}}$, Вт	Удаление избытков тепловой мощности дополнительным наружным блоком кондиционера в тоннель, $Q_{\text{выбр}}$, кВт		
			Холодный период	Переходный период	Теплый период
П1	ХП	4672	—	7,63	13,61
	ПП	2077			
	ТП	—			
П2	ХП	4083			
	ПП	1815			
	ТП	—			
П3	ХП	4704			
	ПП	2091			
	ТП	—			

Таблица 2. Затраты энергии на эксплуатацию систем поддержания микроклимата

Система поддержания микроклимата	Оборудование	Затраты энергии: кВт·ч (электрической) или Гкал (тепловой)	Стоимость энергии, руб./ч (с 01.04.2010 г.: 1 кВт·ч = 1руб. 51 коп.; 1 Гкал = 703 руб. 63 коп)
Системы поддержания микроклимата, используемые на сегодняшний день			
П4	ВЦ 4-75 исп.1, №5	0,25 кВт·ч	0,4
В4	ВЦ 4-75 исп.1, №5	0,25 кВт·ч	0,4
П1	КСк3-6	$4,02 \cdot 10^{-3}$ Гкал	2,81
П2	КСк3-6	$3,51 \cdot 10^{-3}$ Гкал	2,46
П3	КСк3-6	$4,04 \cdot 10^{-3}$ Гкал	2,81
Система отопления служебных помещений	Радиаторы «Сантехпром БМ»	93,04 Гкал (по данным приборов учета)	56,3
		Итого	65,18
Предлагаемая система поддержания микроклимата			
Канальная сплит-система	Канальный кондиционер Ballu MHA-48HR (внутренний блок + наружные блоки (4 шт.); один из наружных блоков устанавливается в тоннель)	3,64	5,5

Таблица 3. Стоимость оборудования системы кондиционирования (канальной сплит-системы) в ценах апреля 2010 г.

Оборудование системы кондиционирования	Стоимость оборудования системы кондиционирования, руб.
Канальный кондиционер Ballu MHA-48HR (внутренний блок + наружный блок, устанавливаемый в тоннель)	88 137 руб. согласно каталогу [8]
Наружный блок Mitsubishi Electric SEZ-KA/MUZ-GA50VA (3 шт.), устанавливаемый в приточную вентиляционную камеру нерасчетных помещений	43 234 руб. — цена 1 шт. 129 702 руб. — стоимость 3 шт.
Всего	217 839 руб.

- применение системы кондиционирования воздуха значительно снижает затраты тепловой и электрической энергии на отопление и вентиляцию служебных помещений станции;

- канальная сплит-система для поддержания требуемых параметров микроклимата в служебных помещениях станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена окупается в среднем за 7 месяцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Строительная климатология и геофизика (СНиП 2.01.01-82). — М.: Госстрой СССР, 1982. — 148 с.
2. Цодиков В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. — М.: Недра, 1975. — 237 с.
3. Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены (СП 32-105-2004). — М.: Госстрой России, 2003. — 337 с.
4. Штейн А. С. Кондиционеры фирмы DAIKIN: курс лекций. — М.: DAICHI, 2003. — 96 с.
5. Кондиционеры от A до G. URL: <http://www.irvispress.ru/cgi/index/review/cond/ag>.
6. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование (СНиП 2.04.05-91). — М.: Госстрой России, 1991. — 76 с.
7. Красюк А. М., Лугин И. В., Сальков Е. А. Специфика создания и поддержания микроклимата служебных помещений станции Новосибирского метрополитена «Октябрьская // Горный информационно-аналитический бюллетень: приложение «Аэрология». — М.: Горная книга, 2006. — С. 46–51.
8. Каталог оборудования компании «ТЕХ ЭЙР». URL: <http://www.techair.ru/catalog/conditioners/channels/fuji-electric>.



« Т Р А Н С П О Р Т Р Ф »
 К У П О Н А П О Д П И С К У

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ! Для оформления подписки на журнал просим заполнить настоящий бланк и выслать по адресу 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9. После получения купона мы отправим вам счет. Оплатив его, отправьте в редакцию копию платежного поручения по факсу (812) 310-40-97. Поля, обязательные для заполнения, отмечены звездочкой (*).

Наименование предприятия *

Адрес доставки (фактический) *

Тел. E-mail

Фамилия, имя, отчество *

должность

Юридический адрес *

ИНН *

Название банка *

Расчетный счет *

Корреспондентский счет *

2011 г. *

№1 №2 №3 №4 №5 №6

Количество экземпляров *

СТОИМОСТЬ ОДНОГО ЭКЗЕМПЛЯРА (БЕЗ УЧЕТА СТОИМОСТИ ДОСТАВКИ) — 700 Р., ВКЛЮЧАЯ НДС

2010 г. *

№1 №2 №3 №4 №5 №6

Количество экземпляров *

СТОИМОСТЬ ОДНОГО ЭКЗЕМПЛЯРА (БЕЗ УЧЕТА СТОИМОСТИ ДОСТАВКИ) — 700 Р., ВКЛЮЧАЯ НДС

По этому купону у вас есть возможность заказать не только новые, но и предыдущие номера издания.

СТОИМОСТЬ ОДНОГО ЭКЗЕМПЛЯРА (БЕЗ УЧЕТА СТОИМОСТИ ДОСТАВКИ) — 700 Р., ВКЛЮЧАЯ НДС