

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/02SAVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Безфамильная Е.В., Кабанова И.А. Применение трансформаторов тепла в системах кондиционирования воздуха // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/02SAVN321.pdf> (доступ свободный).
Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Bezfamilnaya E.V., Kabanova I.A. (2021). The use of heat transformers in air conditioning systems. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/02SAVN321.pdf> (in Russian)

Безфамильная Екатерина Викторовна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Филиал в г. Смоленск, Смоленск, Россия
Студент магистратуры
E-mail: bf.ekaterina.kos@gmail.com

Кабанова Ирина Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Филиал в г. Смоленск, Смоленск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: ir.kabanowa@mail.ru

Применение трансформаторов тепла в системах кондиционирования воздуха

Аннотация. Фактическое потребление электроэнергии с каждым годом растет. Актуальным вопросом на сегодняшний день является вопрос использования мероприятий по энергосбережению и внедрению их в различных сферах. Одной из инженерных систем, характеризующейся большим энергопотреблением в современных зданиях, является система кондиционирования воздуха.

Авторами были рассмотрены различные возможные способы снижения потребления энергоресурсов в системах кондиционирования воздуха. В качестве одного из перспективных направлений повышения эффективности работы СКВ рассмотрено применение схем с включением трансформаторов тепла и рециркуляции воздуха. В рамках исследования поставлена задача сравнения эффективности применения данных схем в зависимости от территориального расположения объекта в разных климатических районах и представить практические рекомендации по применению трансформаторов тепла в СКВ. Для выполнения поставленной задачи были выполнены оценка эффективности применения рециркуляции в СКВ; предложены схемы с трансформаторами тепла. В основе исследования применения трансформаторов тепла были рассмотрены: построение процессов подготовки воздуха на i-d диаграмме для теплого периода: прямоточной схемы и с применением трансформатора тепла, и для холодного периода года – прямоточной и с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла. Выполнена сравнительная оценка эффективности данных схем по энергопотреблению системы. Расчеты выполнены для различных климатических районов Российской Федерации; в качестве объекта исследования было принято здание общественного назначения. Проведенное исследование позволило оценить эффективность использования трансформаторов тепла в системах кондиционирования воздуха и дать практические

рекомендации по целесообразности применения данных схем в различных климатических районах.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха; рециркуляция; трансформаторы тепла; микроклимат; тепло-влажностная обработка; калорифер; оросительная камера; компрессор; энергоэффективность; энергоресурсы

Введение

В Российской Федерации на 2019 год фактическое потребление электроэнергии составило 1075,2 млрд кВт·ч и осталось практически на уровне 2018 года¹. Несмотря на то, что повышения потребления не наблюдается, разработка систем энергосбережения остается актуальным вопросом как в РФ, так и в мире. На сегодняшний день меры по энергосбережению внедряют в различных сферах. Разрабатываются новые системы, потребляющие меньшее количество энергии, либо системы, позволяющие уменьшить потребление существующих.

В Российской Федерации за счет ее географического расположения большое количество энергии необходимо для систем, создающих и поддерживающих оптимальные параметры в местах пребывания людей (временного или постоянного). В качестве одной из таких систем являются системы кондиционирования воздуха (СКВ), потребляющие ежегодно более 20 млрд кВт·ч электроэнергии [1].

СКВ применяют для создания и поддержания оптимальных параметров микроклимата, обеспечивающих комфортное пребывание человека в помещении. При этом необходимо контролировать такие параметры воздуха, как влагосодержание, температуру, относительную влажность, а также исключая содержание в воздухе пыли и вредных примесей, опасных для здоровья человека, выделение которых сопутствует промышленным процессам [2].

Наиболее широкое распространение в качестве мероприятий по энергосбережению в СКВ получили схемы тепло-влажностной обработки воздуха с применением рециркуляции и рекуперации. Данные схемы позволяют осуществлять экономию за счет уменьшения температурного напора, который необходимо обеспечивать подогревателям и оросительной камере. Следует отметить, что возможность применения рециркуляции может быть ограничена в зависимости от назначения помещения, например, от требуемого количества свежего воздуха, подаваемого на каждое рабочее место², в помещениях с выделением вредных, взрывоопасных веществ использование рециркуляции будет невозможно.

В настоящее время одним из перспективных направлений по энергосбережению является применение трансформаторов тепла в качестве источников энергии в различных отраслях производства, в том числе они могут быть рассмотрены в качестве потенциального источника для решения вопросов по энергопотреблению в СКВ.

Постановка задачи

СКВ, как инженерные системы, проектируются во всех общественных зданиях для создания и поддержания оптимального микроклимата в помещениях. Также СКВ могут

¹ Основные характеристики Российской электроэнергетики. – Режим доступа: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532>.

² СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха: свод правил: утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ 16.12.2016: взамен СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01-2003»: срок введ. в д. 17.06.2017.

закладываться и для домов жилого сектора, например, для частных. В любом случае СКВ потребляют большое количество энергии на осуществление тепло-влажностной обработки воздуха в течении года.

В рамках исследования была поставлена задача рассмотреть возможность использования трансформаторов тепла в схемах СКВ как эффективной меры энергосбережения с оценкой энергопотребления в теплый и холодный периоды года в климатических районах Российской Федерации.

Для этого необходимо рассмотреть возможность использования трансформаторов тепла для обеспечения процессов тепло-влажностной обработки: в процессах нагрева и охлаждения воздуха.

Методы

В схемах СКВ возможно применение различных мероприятий по энергосбережению: рециркуляция, рекуперация, трансформаторы тепла, комбинирование энергосберегающих схем, прерывистый режим работы системы [2].

Одним из самых распространенных способов сокращения энергопотребления является применение рециркуляции или рекуперации, которые отличаются от прямоточной схемы тем, что используют удаляемый воздух в качестве вторичного энергетического ресурса. Использование данных мероприятий по энергосбережению может ограничивать назначение зданий и сооружений: обеспечение минимального притока свежего воздуха, либо невозможность применения данных схем из-за содержащихся в удаляемом воздухе вредных веществ.

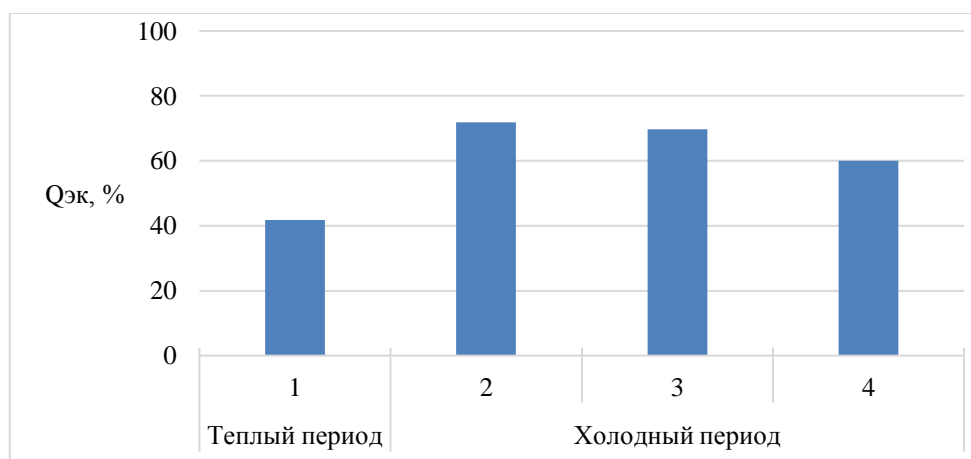
Несмотря на ограничения, в СКВ применение схем с использованием рекуперации и рециркуляции позволяет по сравнению с прямоточной схемой сократить потребление энергии на первичный и вторичный подогрев, а также охлаждение в оросительной камере.

Применение рециркуляции в схемах СКВ в холодный и теплый период года может быть реализовано различными методами.

В холодный период года возможно применение схем со смешением до/после подогревателя первой ступени или с двойной рециркуляцией. Наиболее часто используют схему с рециркуляцией до подогревателя первой ступени, так как данная система за счет закрытия клапана наружного воздуха позволяет осуществлять 100 % рециркуляцию, используя вентиляционную систему в режиме воздушного отопления [3]. Систему с применением рециркуляции после подогревателя первой ступени чаще используют в тех случаях, если непосредственное смешение наружного воздуха и удаляемого приводит к выпадению конденсата, что сопровождается дополнительными капитальными затратами: отвод конденсата из системы. Схема с применением двойной рециркуляции совмещает преимущества и недостатки двух выше рассмотренных схем [4]. Основное отличие заключается в увеличении капитальных затрат.

В теплый период года также возможно применение схем с применением рециркуляции: до или после оросительной камеры.

Результаты проведенных исследований по эффективности применения рециркуляции в схемах СКВ в теплый и холодный период года в климатической зоне ПВ представлены на рисунке 1.



1 – после оросительной камеры; 2 – до калорифера; 3 – после рециркуляции; 4 – до и после калорифера первого подогрева

Рисунок 1. Сравнение схем тепло-влажностной обработки воздуха СКВ с применением рециркуляции (составлено авторами)

В результате исследований были предложены следующие рекомендации для общественных зданий, расположенных в климатической зоне ПВ [4]:

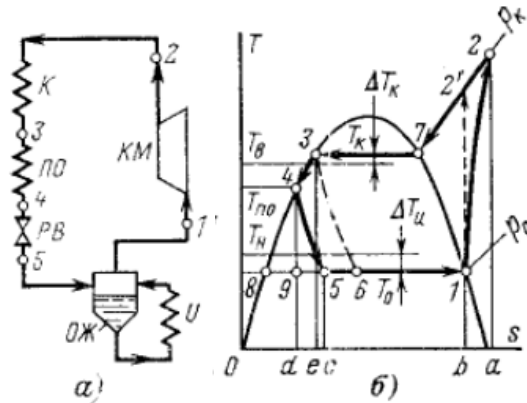
1. для теплого периода года эффективным мероприятием по энергосбережению можно рекомендовать схему с применением рециркуляции после оросительной камеры, позволяющую обеспечить экономию около 40 %;
2. для холодного периода года эффективным мероприятием по энергосбережению можно рекомендовать схему с применением рециркуляции после калорифера первого подогрева, позволяющую обеспечить экономию около 70 %.

На сегодняшний день как перспективное направление по энергосбережению, которое может позволить получать больший процент экономии, можно считать применение трансформаторов тепла в различных сферах производства [5]. В СКВ применение трансформаторов тепла возможно как в роли подогревателя: для полной или частичной замены ступеней подогрева; так и в роли охладителя, что может позволить сократить температурный напор, который должна обеспечивать оросительная камера.

Трансформаторы тепла представляют собой технические системы, осуществляющие отвод энергии от объектов с относительно низкой температурой к приемникам тепла с более высокой температурой. Данный процесс не может происходить самопроизвольно. Для повышения потенциала тепла необходимы затраты внешней энергии, например, электрической, механической, химической или др.

К трансформаторам тепла относятся такие виды установок как теплонасосные и холодильные. Теплонасосные установки предназначены для использования тепла, отводимого от низкопотенциального источника. Работа холодильных установок заключается в отводе тепла.

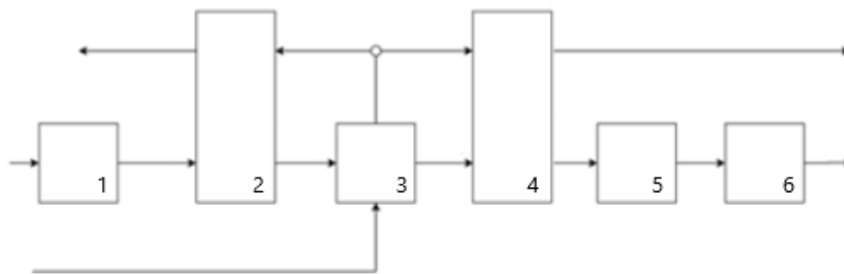
По принципу действия установки подразделяются на две группы: 1. компрессионные, для работы которых необходима механическая работа; 2. абсорбционные и парожекторные, для работы которых необходимо тепло. Компрессионные трансформаторы тепла делятся на парожидкостные, газожидкостные или газовые (воздушные). Так как теплоемкость паров значительно выше воздуха, то парожидкостные трансформаторы тепла дают большую эффективность и меньшие габаритные размеры. Принципиальная схема парожидкостного компрессионного трансформатора тепла представлена на рисунке 2.



КМ – компрессор; К – конденсатор; ПО – охладитель; РВ – регулировочный вентиль; ОЖ – отделитель жидкости; И – испаритель [6]

Рисунок 2. Принципиальная схема и процесс работы парожидкостного трансформатора тепла: добавить отделитель жидкости и пара перед испарителем.
а – принципиальная схема; б – процесс на T,s -диаграмме

Авторами была рассмотрена возможность применения трансформаторов тепла в теплый и холодный периоды года. Принципиальные схемы тепло-влажностной обработки воздуха в теплый и холодный периоды представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

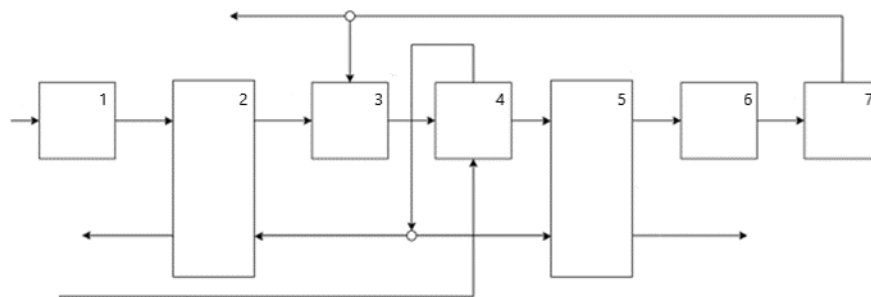


1 – приточный блок; 2 – трансформатор тепла первой ступени, выступающий в роли охладителя; 3 – оросительная камера; 4 – трансформатор тепла второй ступени, выступающий в роли подогревателя; 5 – помещение; 6 – вытяжной блок

Рисунок 3. Принципиальная схема тепло-влажностной обработки воздуха СКВ с использованием парожидкостного трансформатора тепла для теплого периода года (составлено авторами)

Для теплого периода года была рассмотрена схема с применением двух трансформаторов тепла. Трансформатор тепла первой ступени используется для первичного охлаждения перед оросительной камерой, трансформатор тепла второй ступени – для полной или частичной замены подогревателя.

Для холодного периода года была рассмотрена схема также с применением двух трансформаторов тепла. Отличие от теплого периода заключается в том, что в данной схеме трансформаторы первой и второй ступени выступают в роли подогревателей. Также в холодный период в схему добавлена рециркуляционная камера для рассмотрения эффективности совместного применения рециркуляции и трансформаторов тепла.



1 – приточный блок; 2 – трансформатор тепла первого подогрева; 3 – рециркуляционная камера; 4 – оросительная камера; 5 – трансформатор тепла второго подогрева; 6 – помещение; 7 – вытяжной блок

Рисунок 4. Принципиальная схема тепло-влажностной обработке воздуха СКВ с совместным использованием рециркуляции и парожидкостного трансформатора тепла для холодного периода года (составлено авторами)

При необходимости в схему включаются теплообменники (до или после трансформаторов тепла) для обеспечения пиковых нагрузок или для постоянной совместной работы. В теплый период года при использовании в схеме СКВ трансформатора тепла экономия энергопотребления происходит за счет уменьшения температурного напора, который должен обеспечиваться в оросительной камере, и за счет замены (полной/частичной) калорифера. В холодный период года при комбинированном использовании рециркуляции и трансформатора тепла – за счет уменьшения температурного напора, обеспечиваемого оросительной камерой, с помощью рециркуляции и за счет замены (полной/частичной) калориферов первого и второго подогрева трансформаторами тепла [7].

Данные схемы СКВ используются совместно с основным источником тепла: отоплением, для удаления из помещения теплоизбытков, обеспечения комфортного микроклимата: увлажнение, осушение, подогрев и охлаждение воздуха (зависит от периода года и схем подготовки воздуха). В рассматриваемых схемах, представленных на рисунках 3 и 4, процесс подогрева и охлаждения воздуха проходит в парожидкостном трансформаторе тепла совместно с теплообменником (для покрытия пиковых нагрузок, либо для постоянной совместной работы).

Для выполнения поставленной задачи исследования было проведено сравнение выше рассмотренных схем с базовым вариантом, в качестве которого была принята прямоточная схема СКВ без использования мероприятий по энергосбережению. В качестве критерия для оценки эффективности применения схем был принят показатель энергопотребления.

Расчет количества энергии, необходимой для подогрева воздуха в калорифере, проводится по формуле [8]:

$$Q_{\Pi} = G_{\Pi} \cdot c \cdot (t''_{\Pi} - t'_{\Pi}), \quad (1)$$

где G_{Π} – расход воздушной смеси, проходящего через подогреватель, кг/ч;

t''_{Π} – температура воздушной смеси на выходе из подогревателя, °С;

t'_{Π} – температура воздушной смеси на входе в подогреватель, °С;

c – удельная теплоемкость воздушной смеси при средней температуре, кДж/кг·°С.

Расчет количества энергии, необходимого для охлаждения воздуха в оросительной камере, проводится по формуле [8]:

$$Q_0 = G_0 \cdot c \cdot (t'_0 - t''_0), \quad (2)$$

где G_0 – расход воздушной смеси, проходящего через охладитель, кг/ч;

t'_0 – температура воздушной смеси на входе в подогреватель, °С;

t''_0 – температура воздушной смеси на выходе из подогревателя, °С;

c – удельная теплоемкость воздушной смеси при средней температуре, кДж/кг·°С.

Величина воздухообмена, необходимого для заданного объекта, зависит от нескольких факторов: назначения помещения, схемы подготовки воздуха, теплоступлений, влаго- и газовыделений и т. п. [9].

Расчет количества энергии, которое затратит трансформатор тепла на выработку необходимого количества тепла или холода проводится по формуле:

$$Q_T = G_p \cdot (h''_K - h'_K) / \eta, \quad (3)$$

где G_p – расход рабочего агента, кг/ч;

h''_K – энтальпия рабочего агента на выходе из компрессора, кДж/кг;

h'_K – энтальпия рабочего агента на входе в компрессор, кДж/кг;

η – КПД компрессора.

На вывод о целесообразности использования мероприятий по энергосбережению должна влиять возможная экономия энергоресурсов, а также капитальные затраты, конструктивные и архитектурные ограничения, назначение объекта, приемлемый уровень шума, расходы на техническое обслуживание и годовые эксплуатационные затраты [10].

Результаты исследования

Для анализа схем СКВ в качестве объекта исследования принято общественное здание с постоянным нахождением людей. По методике [8] был проведен расчет требуемого воздухообмена для заданного здания, который составил $G = 41000$ кг/ч. В качестве параметров внутреннего воздуха³ приняты: температура $t_v = 20^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_v = 60\%$.

Рассмотрены варианты расположения объекта в городах различных климатических зон РФ с параметрами наружного воздуха⁴, представленными в таблице 1. Исследования проведены для теплого и холодного периода года. В рамках работы выполнен анализ работы СКВ с оценкой потребляемого количества энергии в различных схемами тепло-влажностной обработки воздуха: прямоточной, с применением трансформатора тепла или с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла.

По данным, полученным при построении процессов тепло-влажностной обработки воздуха на i-d диаграмме по параметрам теплого периода, для выбранных схем: прямоточная (рисунок 5а) и с применением трансформатора тепла (рисунок 5б), было рассчитано их энергопотребление в соответствии с климатическими параметрами различных районов. Для схемы с использованием трансформатора тепла в качестве рабочих агентов были выбраны рабочие агенты R1270, R134a, R170.

³ ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. 01.01.13.

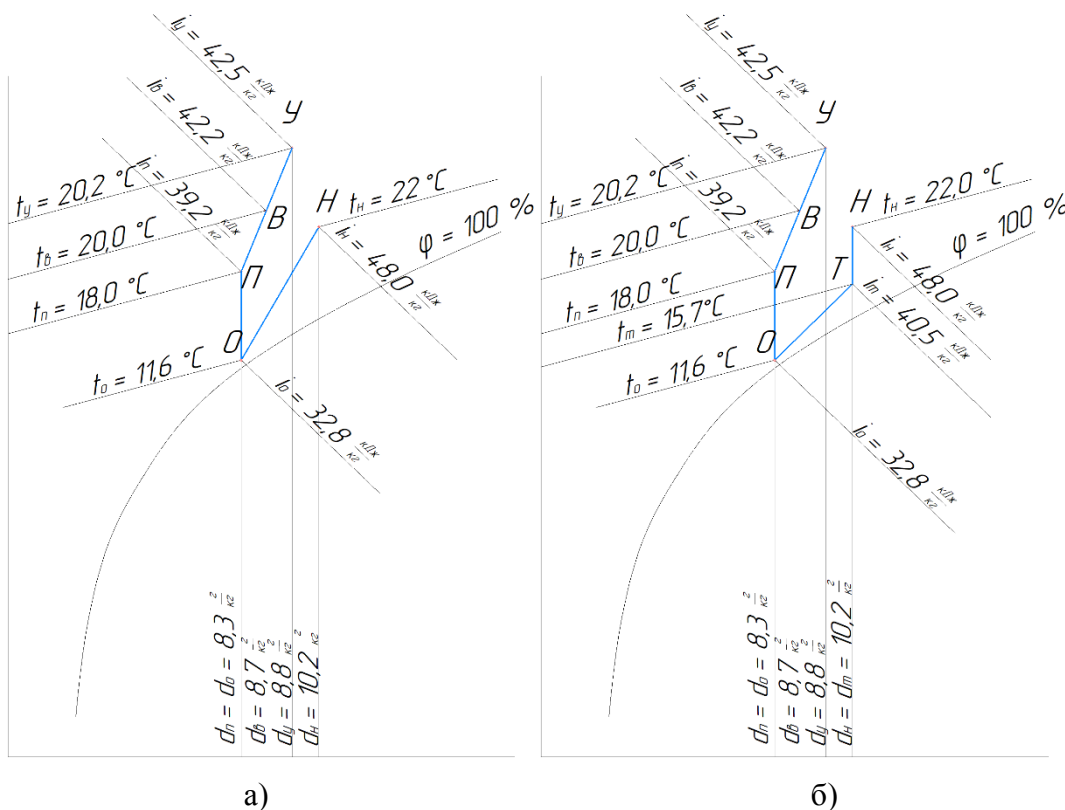
⁴ СП 131.13330.2018 Строительная климатология: свод правил: утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ 28.11.2018 №763/пр: срок введ. в д. 29.05.2019.

Таблица 1

Параметры наружного воздуха

Климатический район ⁵	Город	Теплый период		Холодный период		
		$t_{н}^T, ^\circ\text{C}$	$\varphi_{н}^T, \%$	$t_{н}^X, ^\circ\text{C}$	$\varphi_{н}^X, \%$	
I	IA	Якутск (Республика Саха)	23	44	-52	72
	IB	Дудинка (Красноярский край)	16	61	-47	73
	IV	Тюмень (Тюменская область)	23	54	-35	74
	IG	Нарьян-Мар (Ненецкий АО)	17	64	-39	82
	ID	Сургут (Тюменская область)	20	59	-43	78
II	IIA	Мурманск (Мурманская область)	16	64	-30	84
	IIB	Калининград (Калининградская область)	22	60	-19	83
	IIV	Смоленск (Смоленская область)	22	62	-25	85
	IIG	Южно-Сахалинск (Сахалинская область)	20	72	-21	70
III	IIIA	Оренбург (Оренбургская область)	27	42	-32	77
	IIIB	Краснодар (Краснодарский край)	28	48	-14	74
	IIIV	Ростов на Дону (Ростовская область)	27	46	-19	77

Составлено авторами



HT – процесс охлаждения наружного воздуха в трансформаторе тепла; НО, ТО – процесс охлаждения и увлажнения воздуха в оросительной камере; ОП – процесс подогрева воздушной смеси в калорифере/трансформаторе тепла; ПУ – процесс изменения параметров воздуха в помещении

Рисунок 5. Процессы подготовки воздуха на $i-d$ диаграмме в теплый период года для климатического района ПВ: а) прямоточная схема; б) схема с применением трансформатора тепла (составлено авторами)

На $i-d$ диаграмме представлены процессы обработки воздуха для климатического района ПВ с параметрами наружного воздуха: температура $t_{н} = 22^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_{н} = 62\%$. При

⁵ СП 131.13330.2018 Строительная климатология: свод правил: утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ 28.11.2018 №763/пр: срок введ. в д. 29.05.2019.

анализе результатов, представленных на рисунке 5, можно отметить, что при изменении параметров точки Н процесс ОП остается неизменным. Для всех климатических районов затраты энергии на подогрев воздушной смеси в калорифере в прямоточной схеме подготовки воздуха $Q_{\text{п}} = 72,95$ кВт. Экономия на подогрев воздуха за счет применение в СКВ трансформаторов тепла для каждого климатического района составила на рабочем агенте: R1270 – 75,45 %, R134a – 82,33 %, R170 – 41,58 %. Расчеты по всем районам проводились аналогично и представлены в таблице 2.

По результатам расчетов можно отметить, что применение трансформаторов тепла в схемах подготовки воздуха в теплый период года обеспечивает экономию энергии на охлаждение (в среднем около 38 % в сравнении с прямоточной схемой) и, следовательно, применение теплонасосных и холодильных установок, как мероприятий по энергосбережению, является целесообразным.

Таблица 2

Результаты расчета для теплого периода

Климатический район	Схема		Q_0 , кВт	ΔQ_0		
				кВт	%	
I	IA	прямоточная	129,94	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	37,29	92,65	71,30
			R134a	65,17	64,77	49,85
	R170		90,74	39,2	30,17	
	IB	прямоточная	50,15	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	59,40	-	-
			R134a	54,38	-	-
	R170		74,11	-	-	
	IV	прямоточная	129,94	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	39,57	90,37	69,55
			R134a	65,17	64,77	49,85
	R170		90,74	39,2	30,17	
	II	прямоточная	61,55	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	36,15	25,4	41,27
			R134a	31,13	30,42	49,42
	R170		60,86	0,69	1,12	
	ID	прямоточная	95,74	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	22,47	73,27	76,53
R134a			30,97	64,77	67,65	
R170	56,54		39,2	40,94		
II	IIA	прямоточная	50,15	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	49,82	0,33	0,66
			R134a	44,80	5,35	10,67
	R170		74,53	-	-	
	IIB	прямоточная	118,54	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	47,10	71,44	60,27
			R134a	53,77	64,77	54,64
	R170		79,34	39,2	33,07	
	IIV	прямоточная	118,54	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	53,24	65,3	55,09
			R134a	53,77	64,77	54,64
	R170		79,34	39,2	33,07	
	IIIG	прямоточная	95,74	-	-	
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	56,66	39,08	40,82
			R134a	51,64	44,1	46,06
R170	81,37		14,37	15,01		

Климатический район	Схема			Q ₀ , кВт	ΔQ ₀	
					кВт	%
III	IIIА	прямоточная		175,53	-	-
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	36,83	138,7	79,02
			R134a	110,76	64,77	36,90
	R170		136,33	39,2	22,33	
	IIIБ	прямоточная		186,93	-	-
		с применением трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	71,48	115,45	61,76
			R134a	122,16	64,77	34,65
	R170		147,73	39,2	20,97	
	IIIВ	прямоточная		175,53	-	-
с применением трансформатора тепла на рабочем агенте		R1270	52,90	122,63	69,86	
		R134a	110,76	64,77	36,90	
	R170	136,33	39,2	22,33		

Составлено авторами

Результаты в характерных зонах климатических районов: IД, IIВ и IIIВ, представленных на рисунке 6, показывают, что для климатических районов I и III наибольший процент экономии обеспечивает схема с применением трансформаторов тепла на рабочем агенте R1270 соответственно 76,53 % и 69,86 %. Для климатического района II наибольшее энергосбережение на охлаждение воздуха обеспечивает схема с применением трансформаторов тепла на рабочих агентах R1270 и R134a – около 55 %.

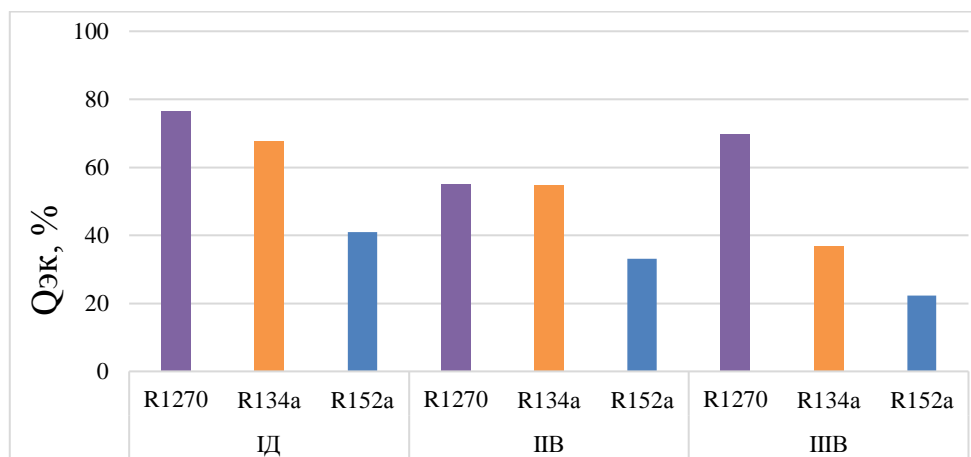


Рисунок 6. Процент экономии энергии на охлаждение в СКВ в теплый период года при использовании схем обработки воздуха с применением трансформатора тепла с разными рабочими агентами в характерных зонах климатических районов по сравнению с прямоточной схемой (составлено авторами)

При рассмотрении результатов для зон Б, В и Г климатического района II, представленных на рисунке 7 наибольший процент экономии дает схема с применением трансформатора тепла на рабочем агенте R134a в зоне IIГ 46,06 %; на рабочем агенте R1270 в зонах IIБ и IIВ соответственно 60,27 % и 55,09 %. Для зоны IIА применение трансформаторов тепла для охлаждения можно считать не эффективным, т. к. экономию около 10 % обеспечивает только рабочий агент R134a, при использовании R1270 и R170 система потребляет больше энергии, чем прямоточная схема.

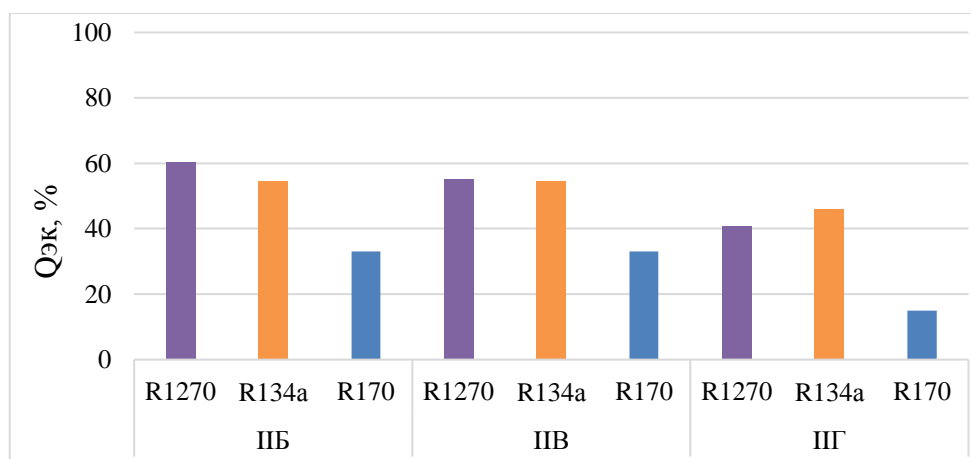


Рисунок 7. Процент экономии энергии на охлаждение в СКВ в теплый период года при использовании схем обработки воздуха с применением трансформатора тепла с разными рабочими агентами в климатическом районе II по сравнению с прямоточной схемой (составлено авторами)

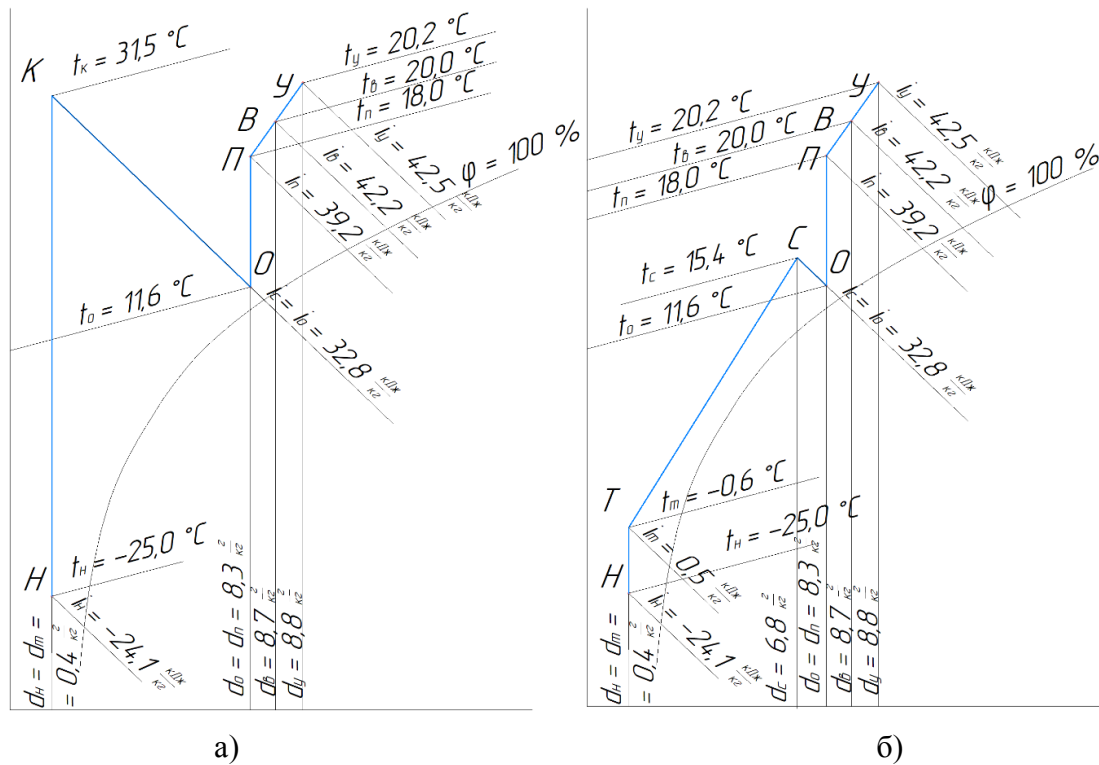
В климатических районах IA, IB, ID, IIIA, IIIB и IIIV с характерными максимальными температурами 19–25 °С при невысокой относительной влажности воздуха до 50 % в теплый период года при применении для трансформатора тепла в качестве рабочего агента R1270 обеспечивается наибольший процент экономии энергии на охлаждение в схеме подготовки воздуха – в среднем 75 %. Так же для данных климатических районов можно рекомендовать к применению в теплый период рабочий агент R134a для трансформаторов тепла, так как данный рабочий агент дает большой процент экономии, который составляет 35–68 %. При применении в качестве рабочего агента R170 процент экономии энергии составляет 20–41 %.

В климатических районах IG, IB, IB и IIG с характерными максимальными температурами 13–21 °С при более высокой относительной влажности воздуха 60–75 % в теплый период года с включением в схему трансформаторов тепла на рабочем агенте R134a обеспечивается наибольший процент экономии энергии на охлаждение – в среднем 54 %. Так же для рассмотренных климатических районов можно рекомендовать к применению в теплый период рабочие агенты R170 и R1270, процент экономии энергии составляет около 38–65 % и 5–36 % соответственно.

В климатических районах IB и IIA с характерными максимальными температурами до 12 °С при относительной влажности воздуха около 60 % в теплый период года схема тепло-влажностной обработки воздуха с применением трансформаторов тепла для охлаждения воздуха на рассмотренных рабочих агентах затрачивает энергии больше, чем прямоточная схема.

По данным, полученным при построении процессов подготовки воздуха на i-d диаграмме по параметрам холодного периода, для выбранных схем: прямоточная (рисунок 8а) и с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла (рисунок 8б), было рассчитано их энергопотребление аналогично теплomu периоду.

На i-d диаграмме представлены процессы обработки воздуха для климатического района IB с параметрами наружного воздуха: температура $t_n = -25^{\circ}\text{C}$, влажность $\varphi_n = 85\%$. При анализе результатов, представленных на рисунке 5, можно отметить, что при изменении параметров точки Н процессы КО и СО остаются практически неизменными. Для всех климатических районов затраты энергии на увлажнение воздушной смеси в оросительной камере в прямоточной схеме подготовки воздуха $Q_0 = 227,96$ кВт.



НК, НТ – процесс нагрева наружного воздуха в подогревателе первой ступени; ТС – процесс смешения подогретого наружного и рециркуляционного воздуха; КО, СО – процесс увлажнения воздушной смеси в оросительной камере; ОП – процесс нагрева воздушной смеси в подогревателе второй ступени; ПУ – процесс изменения параметров воздушной смеси в помещении

Рисунок 8. Процессы подготовки воздуха на *i-d* диаграмме в холодный период года для климатического района ПВ: а) прямоточная схема; б) схема с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла (составлено авторами)

Таблица 3

Результаты расчета для холодного периода

Климатический район	Схема	Q _п , кВт	ΔQ _п			
			кВт	%		
I	Прямоточная	1025,82	-	-		
	IA	с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	990	
		R134a	76,61	949,21	92,53	
		R170	42,62	983,2	95,85	
	IB	прямоточная	968,83	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	933,01	96,3
		R134a	63,26	905,57	93,47	
	IV	прямоточная	832,05	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	796,23	95,69
		R134a	31,24	800,81	96,25	
	II	прямоточная	877,65	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	841,83	95,92
		R134a	41,91	835,74	95,22	
	ID	прямоточная	923,24	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	887,42	96,12
		R134a	52,59	870,65	94,3	
		R170	42,62	880,62	95,38	

Климатический район	Схема		$Q_{п}$, кВт	$\Delta Q_{п}$		
				кВт	%	
II	IIА	прямоточная	775,06	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	739,24	95,38
			R134a	25,78	749,28	96,67
			R170	42,62	732,44	94,5
	IIБ	прямоточная	649,69	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	613,87	94,49
			R134a	25,78	623,91	96,03
			R170	42,62	607,07	93,44
	IIВ	прямоточная	718,07	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	682,25	95,01
			R134a	25,78	692,29	96,41
			R170	42,62	675,45	94,06
	IIГ	прямоточная	672,48	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	636,66	94,67
			R134a	25,78	646,7	96,17
R170			42,62	629,86	93,66	
III	IIIА	прямоточная	797,86	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	762,04	95,51
			R134a	25,78	772,08	96,77
			R170	42,62	755,24	94,66
	IIIБ	прямоточная	592,70	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	556,88	93,96
			R134a	25,78	566,92	95,65
			R170	42,62	550,08	92,81
	IIIВ	прямоточная	649,69	-	-	
		с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте	R1270	35,82	613,87	94,49
			R134a	25,78	623,91	96,03
			R170	42,62	607,07	93,44

Составлено авторами

Экономия на охлаждение воздуха при совместного применении в СКВ рециркуляции и трансформаторов тепла для представленных климатических районов составила – около 81 %. Результаты расчетов по всем районам представлены в таблице 3.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что применение трансформаторов тепла совместно с рециркуляцией в схемах подготовки воздуха в холодный период дает большой процент экономии (в среднем около 95 % в сравнении с прямоточной схемой), а также рассмотреть вопрос о полной замене калориферов первой и второй ступеней.

В характерных зонах климатических районов: IД, IIВ и IIIВ, представленных на рисунке 9, очевидно, что для климатического района I, II и III наибольший процент экономии на подогрев обеспечивают схемы с применением трансформаторов тепла на рабочих агентах R1270, R134a и R170 – примерно 95 %.

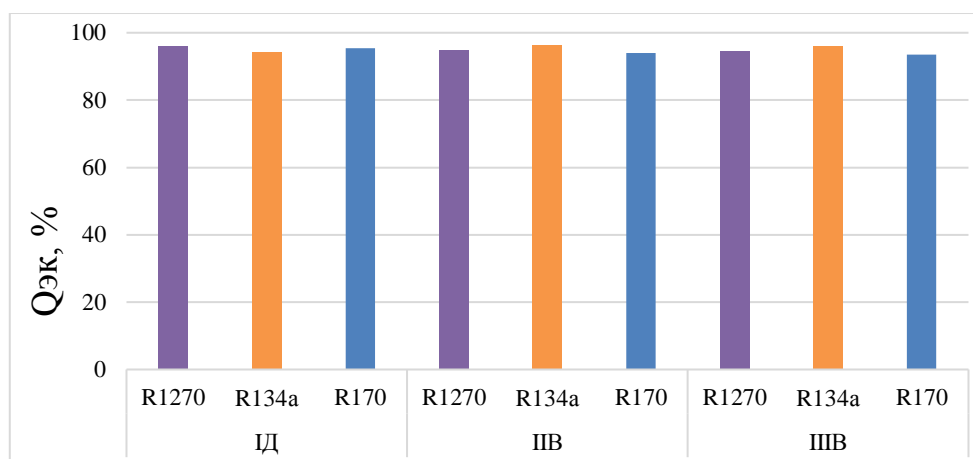


Рисунок 9. Процент экономии энергии в СКВ в холодный период года при использовании схем обработки воздуха с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла с разными рабочими агентами в характерных зонах климатических районов по сравнению с прямоточной схемой (составлено авторами)

Оценка результатов для зон А, Б, В и Г климатического района II, представленных на рисунке 10, показала, что в каждой зоне практически одинаковый процент экономии дает схема с применением трансформатора тепла на различных рабочих агентах около 95 %, с незначительным преимуществом R134a в среднем около 2 %.

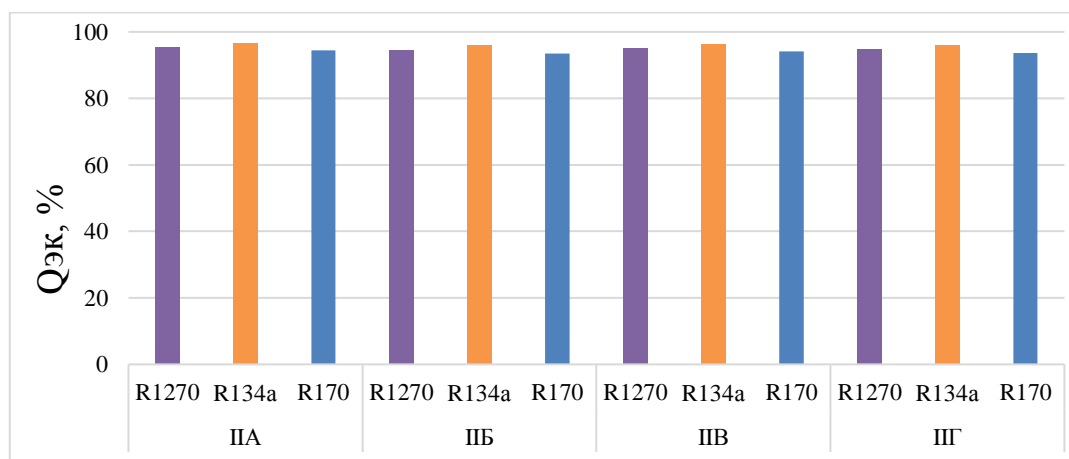


Рисунок 10. Процент экономии энергии в СКВ в холодный период года при использовании схем обработки воздуха с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла с разными рабочими агентами в климатическом районе II по сравнению с прямоточной схемой (составлено авторами)

Во время проведения исследования было отмечено, что выбор схемы с применением трансформатора тепла зависит от того, на сколько выбранная схема будет перекрывать необходимую тепловую нагрузку.

Как показали исследования, применение трансформаторов тепла на рассмотренных рабочих агентах в схемах СКВ позволяют полностью заменить подогреватели при температурах наружного воздуха до -30°C . При более низких температурах наружного воздуха необходимо в схемы включать дополнительные источники тепла.

Выводы

На основе сравнения различных мероприятий по энергосбережению можно отметить, что применение схем подготовки воздуха в СКВ с рециркуляцией в среднем дает для теплого периода до 40 %, для холодного – до 70 %. При усложнении схем с внедрением трансформаторов тепла с применения с рециркуляции в холодный период, могут достигнуты показатели эффективности энергосбережения: для теплого периода – около 38 % на охлаждение и около 40–80 % на подогрев в зависимости от выбора рабочего агента, для холодного периода в среднем 95 % на подогрев и до 81 % на охлаждение.

Таким образом, полученные результаты показывают целесообразность внедрения трансформаторов тепла в системы СКВ для обеспечения энергосбережения как в теплый, так и холодный периоды года.

В качестве рекомендаций для зданий общественного назначения можно отметить:

- Для теплого периода для подогрева и охлаждения воздуха при территориальном расположении объекта в зонах с температурами наружного воздуха до 25 °С и невысокой степенью относительной влажности воздуха до 50 % целесообразно применение схем тепло-влажностной обработки воздуха с включением в схему трансформатора тепла на рабочем агенте R1270; при более низкой температуре наружного воздуха до 20 °С, но при более высокой относительной влажности – 60–75 % наибольшую эффективность обеспечивает применение в схемах рабочего агента R134a. При температурах наружного воздуха до 12 °С с относительной влажностью около 60 % целесообразно применение трансформаторов тепла только для подогрева воздуха.

- Для холодного периода с характерными температурами наружного воздуха от -14 °С до -28 °С и ниже с относительной влажностью воздуха 70–80 % применение схем обработки воздуха с совместным включением рециркуляции и трансформаторов тепла обеспечивается достаточно большой процент экономии на подогрев и охлаждение: до 95 % и до 81 % соответственно.

- Использование трансформаторов тепла в схемах СКВ в ряде случаев позволяет полностью заменить традиционное оборудование и перейти на более энергоэффективное.

В проведенном исследовании были рассмотрены схемы с включением двух трансформаторов тепла. Для повышения экономичности СКВ можно рекомендовать к рассмотрению одну комбинированную установку (КУ) для обеспечения одновременного обеспечения процессов подогрева и охлаждения воздуха.

С целью проведения комплексного анализа применения трансформаторов тепла в схемах тепло-влажностной обработки воздуха целесообразно дополнить полученные исследования эксергетической оценкой эффективности представленных схем СКВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е.М. Белова. – М.: ЕВРОКЛИМАТ, 2006. – 639 с.
2. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. 2003. – 416 с.
3. Безфамильная Е.В., Кабанова И.А. Оценка эффективности применения рециркуляции воздуха // Сборник трудов VII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2017» 23–24 ноября 2017 года. Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ». Смоленск. 2017. Том 1. С. 86–90.
4. Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. Оценка эффективности тепло-влажностной обработки воздуха в системах кондиционирования с рециркуляцией воздуха // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/69SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. 2020, №1, Том 12.
5. Лукьянин П.В., Саунин В.И. Тепловые насосы – состояние и перспективы: Тезисы докладов и сообщений V Минского международного форума по тепло- и массообмену, 24–28 мая 2004 / Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. Минск, 2004. Т. 2. С. 103–105.
6. Юренева В.Н., Лебедева П.Д. Теплотехнический справочник. – 2-е изд., перераб. – Т. 1. – М.: Энергия, 1975. – 744 с., с ил.
7. Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. Анализ эффективности использования парожидкостных трансформаторов тепла в системах кондиционирования воздуха // Сборник трудов X Национальной научно-технической конференции с международным участием «Энергетика, информатика, инновации – 2020» 3–4 декабря 2020 года, в 3 т. Т 1. Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ». Смоленск. 2020. С. 159–164.
8. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: Учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб.: Политехника, 2007. – 423 с.: ил.
9. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982. – 273 с.
10. Росс Д. Проектирование ОВК высотных общественных многофункциональных зданий [Текст] / Дональд Росс. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 166 с. – Перевод изд.: HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings / Donald E. Ross. Atlanta, 2004. – 5000 экз.

Bezfamilnaya Ekaterina Viktorovna

Moscow power engineering institute (national research university)
Smolensk branch, Smolensk, Russia
E-mail: bf.ekaterina.kos@gmail.com

Kabanova Irina Aleksandrovna

Moscow power engineering institute (national research university)
Smolensk branch, Smolensk, Russia
E-mail: ir.kabanowa@mail.ru

The use of heat transformers in air conditioning systems

Abstract. Actual energy consumption is increasing every year. The ways to save the energy and their introduction in different spheres of life remain a relevant issue. The air conditioning system (ASC) is one the engineering systems that consume a large amount of energy resources in modern buildings.

The authors of the article examined various possible ways of reduction in the consumption of energy resources in the air conditioning. The use of the schemes with the inclusion of heat transformers and air recirculation is considered as one of the promising areas of enhancing the efficiency of the ACS work. The objective of comparing the effectiveness of such schemes depending on the territory the object is located on in different climate zones and giving practical guidance on the usage of heat transformers in the air conditioning is set in the study. To fulfil the objective the efficiency of the recirculation use in the ACS has been evaluated; the schemes with heat transformers included have been proposed. The research into the use of the latter is based on designing the processes of air handling on the i-d diagram for a warm season, a straight-through scheme with the use of heat transformers, and a straight-through one with the combined use of recirculation and a heat transformer for a cold season. A comparative evaluation of the efficiency of the power requirement patterns for the system has been carried out. The estimates are made for different climate areas of the Russian Federation; a public building is accepted as the object of the study. The research has provided the evaluation of the effectiveness of the heat transformer usage in the air conditioning systems and practical recommendations as to the feasibility of the given schemes use in various climate zones.

Keywords: air conditioning systems; recirculation; heat transformers; microclimate; heat and humidity treatment; calorifier; heater; irrigation chamber; compressor; energy efficiency; energy resources