

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

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/69SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

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.

For citation:

Kabanova I.A., Bezfamilnaya E.V. (2020). Effectiveness evaluation of heating and humidification in air conditioning systems with recirculation. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/69SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 697

ГРНТИ 67.53.25

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

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

Оценка эффективности тепло-влажностной обработки воздуха в системах кондиционирования с рециркуляцией воздуха

Аннотация. С каждым годом потребление энергии растет. Одними из инженерных систем, потребляющих большое количество энергоресурсов, являются системы вентиляции и кондиционирования. От общего энергопотребления в современных зданиях на подготовку воздуха системами вентиляции и кондиционирования расходуется около 25–50 % энергии.

Авторами был рассмотрен один из возможных методов снижения потребления энергоресурсов данными системами, а именно применение схем с использованием рециркуляции воздуха. В рамках исследования поставлена цель сравнительного анализа работы систем кондиционирования воздуха с учетом различных схем тепло-влажностной обработки воздуха и оценкой энергозатрат для обеспечения оптимальных параметров микроклимата в помещении. Для достижения данной цели были представлены наиболее распространенные схемы подготовки воздуха и произведен расчет потребления энергии. Приведены различные схемы системы кондиционирования с использованием рециркуляции, как одним из наиболее распространенных способов снижения энергопотребления, отражены особенности обработки воздуха, достоинства и недостатки схем. В основе метода расчета требуемого воздухообмена рассмотрены: тепло-влажностный баланс помещения, построение процессов обработки воздуха на i-d диаграмме влажного воздуха, расчет. Для сравнительной оценки схем с учетом тепло-влажностной обработки было рассчитано полное энергопотребление представленных схем.

Расчеты были выполнены для теплого и холодного периодов года, для одной из климатических зон; в качестве объекта исследования было принято общественное здание.

Выполненные расчеты позволили определить экономию энергопотребления и дать практические рекомендации по целесообразности применения схем с рециркуляцией воздуха с учетом особенности тепло-влажностной обработки для рассмотренного объекта исследования.

Ключевые слова: системы кондиционирования; вентиляция; рециркуляция; калорифер; оросительная камера; тепло-влажностная обработка; микроклимат; i-d диаграмма

Введение

На сегодняшний день жизнь человека тесно связана с потреблением энергии, которое с каждым годом увеличивается. Фактическое потребление электроэнергии в Российской Федерации в 2018 г. составило 1076,2 млрд кВт·ч, что выше факта 2017 г. на 1,6 %¹. С повышением потребления энергии происходит увеличение необходимого количества топлива и энергоресурсов.

Одними из инженерных систем, потребляющих большое количество энергоресурсов, являются системы вентиляции и кондиционирования.

В настоящее время в холодный период года в современных зданиях расходуется около 25–50 % тепла на нагрев приточного воздуха [1]. В теплый период года в зданиях, которые оборудованы системами кондиционирования воздуха (СКВ) теплоизбытки уменьшаются благодаря охлаждению приточного воздуха.

Создание определенного микроклимата необходимо для обеспечения оптимальных условий для работы человека в помещении. При поддержании микроклимата контролируют такие параметры воздуха, как относительную влажность воздуха, температуру, влагосодержание, содержание пыли, вредных примесей, опасных для здоровья человека, выделенных при промышленных процессах [2].

Комфортный микроклимат создается при определенных сочетаниях параметров воздушной среды в помещениях. Наибольшее влияние на самочувствие человека оказывают температура, относительная влажность и скорость движения воздуха; содержание в воздухе пыли, токсических паров, газов, аэрозолей; температуры обращенных в сторону человека поверхностей технологических аппаратов и ограждений помещения.

Поддержание параметров микроклимата осуществляется климатическими системами и с помощью осуществления различных схем подготовки воздуха перед его подачей в помещении.

Постановка задачи

СКВ в отличие от систем вентиляции позволяют поддерживать установленную влажность как для общественных зданий с точки зрения обеспечения комфортных параметров среды для работы людей, так и для производственных – для создания параметров среды в соответствии с требованиями технологических процессов.

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

СКВ предусматривают многократную тепло-влажностную обработку воздуха: охлаждение, осушку воздуха, охлаждение с осушкой, подогрев с увлажнением, что позволяет создать требуемые необходимые параметры микроклимата в помещении в течение года.

В рамках исследования была поставлена задача сравнительного анализа работы СКВ различных схем тепло-влажностной обработки воздуха с оценкой энергозатрат для обеспечения оптимальных параметров микроклимата в помещении.

Методы

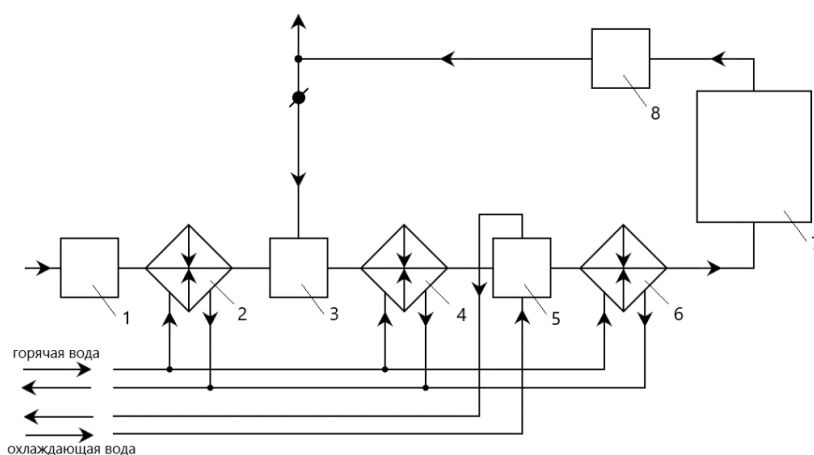
Существует много направлений энергосбережения в СКВ: рециркуляция; рекуперация; комбинированные схемы подготовки; прерывистый режим работы. Рециркуляция является одним из самых распространенных способ энергосбережения. Но следует отметить, что возможность использования рециркуляции зависит от назначения помещения, например, в помещениях с выделением большого количества вредных или взрывоопасных веществ использование рециркуляции будет невозможно.

Использование рециркуляции в подготовке воздуха дает возможность экономить энергию путем доведения наружного воздуха до необходимых параметров с помощью смешения его с удаляемым из помещения воздухом (рециркуляционным). В холодный и теплый периоды данный метод энергосбережения может быть реализован различными способами.

В холодный период использование рециркуляции возможно со смешением воздуха перед калорифером и после, а в теплый период – перед оросительной камерой и после. Экономия происходит за счет подогрева наружного воздуха при смешении наружного и удаляемого воздуха из помещения (в холодный период и в теплом периоде при использовании смешения после оросительной камеры) и за счет охлаждения [3].

Экономия энергии в схеме с использованием рециркуляции воздуха после калорифера обеспечивается за счет уменьшения расхода воздуха, который необходимо нагревать в калорифере первого подогрева.

Схема подготовки с рециркуляцией воздуха после калорифера в холодный период года представлены на рисунке 1.

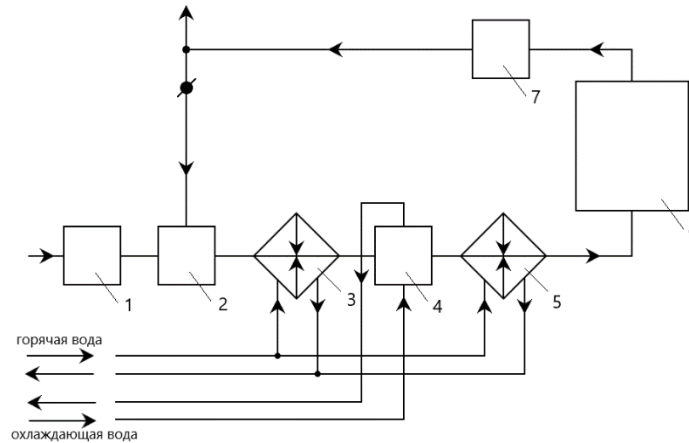


1 – приточный блок; 2 – теплообменник первого подогрева; 3 – рециркуляционная камера; 4 – теплообменник второго подогрева; 5 – оросительная камера; 6 – теплообменник третьего подогрева; 7 – помещение; 8 – вытяжной блок

Рисунок 1. Принципиальная схема с основными технологическими узлами по тепло-влажностной обработке воздуха в СКВ с использованием рециркуляции после калорифера (составлено авторами)

Экономия энергии в схеме с использованием рециркуляции до калорифера обеспечивается благодаря уменьшению температурного напора, который должен обеспечивать калорифер первого подогрева, за счет частичного подогрева наружного воздуха рециркуляционным. Данная схема позволяет осуществлять 100 % рециркуляцию при закрытии клапана наружного воздуха и рассматривать режим воздушного отопления.

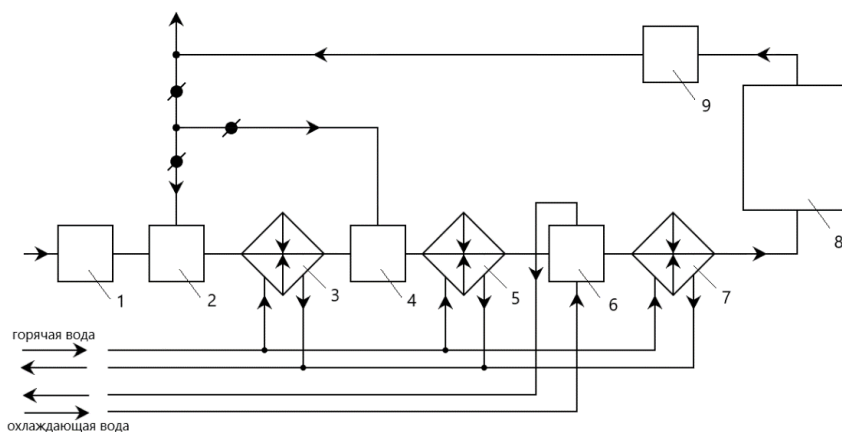
Схема подготовки с рециркуляцией воздуха до калорифера в холодный период года представлены на рисунке 2.



1 – рециркуляционная камера; 2 – воздушные фильтры; 3 – воздухонагреватель первого подогрева; 4 – воздухоохладитель; 5 – оросительная камера; 6 – воздухонагреватель второго подогрева

Рисунок 2. Принципиальная схема с основными технологическими узлами по тепло-влажностной обработке воздуха в СКВ с использованием рециркуляции до калорифера (составлено авторами)

Систему с рециркуляцией воздуха при смешении после калорифера используют в основном в тех случаях, когда непосредственное смешение наружного воздуха и рециркуляционного приводит к выпадению конденсата. При этом линия процесса смешения наружного и рециркуляционного воздуха на i-d диаграмме влажного воздуха пересекает линию насыщения. Избежать этого можно при выборе схемы с рециркуляцией после подогрева, либо предусмотреть отвод конденсата [3].



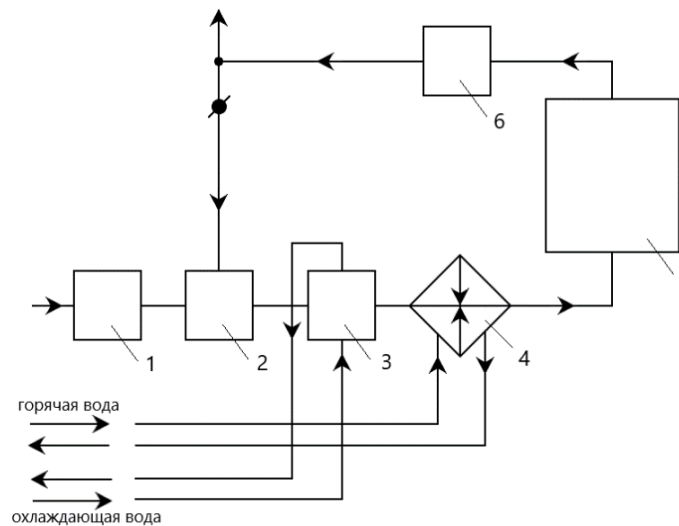
1 – приточный блок; 2 – рециркуляционная камера первого смешения; 3 – теплообменник первого подогрева; 4 – рециркуляционная камера второго смешения; 5 – теплообменник второго подогрева; 6 – оросительная камера; 7 – теплообменник третьего подогрева; 8 – помещение; 9 – вытяжной блок

Рисунок 3. Принципиальная схема с основными технологическими узлами по тепло-влажностной обработке воздуха СКВ с использованием двойной рециркуляции (составлено авторами)

В схеме подготовки воздуха с двойной рециркуляцией, аналогично системе с рециркуляцией до калорифера, присутствует возможность обледенения системы на этапе первого смешения наружного и рециркуляционного воздуха. Основная экономия энергии в данной схеме обеспечивается уменьшением температурного напора и расхода воздуха для калорифера первого подогрева. Схема подготовки с двойной рециркуляцией воздуха представлена на рисунке 3.

Использование рециркуляции в теплый период года дает возможность экономить не только энергию на подогрев воздуха, но и на получение холода в оросительной камере.

Применение схемы с использованием рециркуляции до оросительной камеры появляется возможность экономить количество энергии в оросительной камере на охлаждение и увлажнение воздуха, по сравнению с прямоточной схемой [4]. Данная схема представлена на рисунке 4.



1 – приточный блок; 2 – рециркуляционная камера; 3 – оросительная камера; 4 – теплообменник; 5 – помещение; 6 – вытяжной блок

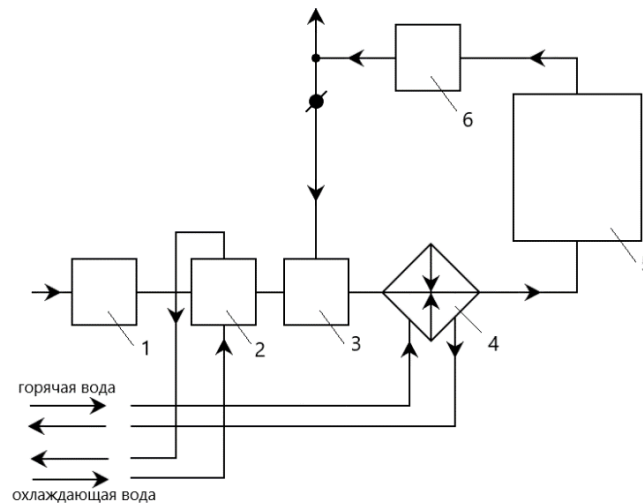
Рисунок 4. Принципиальная схема с основными технологическими узлами по тепло-влажностной обработке воздуха СКВ с использованием рециркуляции до оросительной камеры (составлено авторами)

Применение схемы с использованием рециркуляции после оросительной камеры приводит к увеличению количества затрачиваемой энергии в оросительной камере в сравнении с прямоточной схемой. Но при этом появляется экономия на подогреве, так как его почти полностью можно заменить рециркуляцией (в определенных случаях подогрев полностью можно исключить) [4]. Данная схема представлена на рисунке 5.

Для сравнения выше приведенных схем примем за базовый вариант – прямоточную СКВ без использования дополнительных энергосберегающих элементов системы.

В рамках исследования было выполнено сравнение различных схем с использованием рециркуляции в холодный период года: прямоточной схемы, схемы подготовки с использованием рециркуляции до калорифера, после калорифера и с двойной рециркуляцией; а также в теплый период года: прямоточной схемы, схемы подготовки с использованием рециркуляции после и до оросительной камеры.

Сравнение схем основывается на их энергопотреблении.



1 – приточный блок; 2 – оросительная камера; 3 – рециркуляционная камера; 4 – теплообменник; 5 – помещение; 6 – вытяжной блок

Рисунок 5. Принципиальная схема с основными технологическими узлами по тепло-влажностной обработке воздуха СКВ с использованием рециркуляции после оросительной камеры (составлено авторами)

Расчет количества энергии, необходимой для подогрева воздуха в калорифере, проводится по формуле [5]:

$$Q_{\text{п}} = 0,278 \cdot G_{\text{к}} \cdot (i'_{\text{к}} - i''_{\text{к}}), \quad (1)$$

где $G_{\text{к}}$ – расход воздуха, проходящего через калорифер, кг/ч;

$i'_{\text{к}}$ – энтальпия воздушной смеси на входе в калорифер, кДж/кг;

$i''_{\text{к}}$ – энтальпия воздушной смеси на выходе из калорифера, кДж/кг.

Расчет количества энергии, необходимого для увлажнения воздуха в оросительной камере, проводится по формуле [5]:

$$Q_{\text{х}} = 0,278 \cdot G_{\text{о}} \cdot (i'_{\text{о}} - i''_{\text{о}}), \quad (2)$$

где $G_{\text{о}}$ – расход воздуха, проходящего через оросительную камеру, кг/ч;

$i'_{\text{о}}$ – энтальпия воздушной на входе в оросительную камеру, кДж/кг;

$i''_{\text{о}}$ – энтальпия воздуха на выходе из оросительной камеры, кДж/кг.

Величина воздухообмена необходимого для выбранного помещения зависит от многих факторов: схемы циркуляции воздуха, назначения помещения, теплоступлений, влаго- и газовыделений и т. п. [6].

Для определения требуемого воздухообмена необходимо составить тепло-влажностный баланс для определения теплоступлений и влаговыделений в помещении, построить процессы изменения состояния вентиляционного воздуха на i - d диаграмме. Предварительно определяется величина углового коэффициента луча процесса изменения состояния вентиляционного воздуха и температура удаляемого воздуха [7]. Температура приточного воздуха задается на 4°C меньше температуры внутреннего воздуха². По i - d диаграмме определяются удельные энтальпии $i_{\text{п}}$, $i_{\text{у}}$ и влагосодержания $d_{\text{п}}$, $d_{\text{у}}$ приточного и удаляемого воздуха из помещения.

² ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. 01.01.89.

Для определения требуемого воздухообмена рассчитывается массовый расход приточного воздуха для ассимиляции полных теплопоступлений $Q_{\text{п}}^{\text{T}}$ по формуле [5]:

$$G_{\text{п}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{п}}^{\text{T}}}{I_{\text{y}} - I_{\text{п}}} \quad (3)$$

Также рассчитывается массовый расход приточного воздуха для ассимиляции полных влаговыделений W^{T} по формуле [5]:

$$G'_{\text{п}} = \frac{W^{\text{T}} \cdot 10^3}{d_{\text{y}} - d_{\text{п}}} \quad (4)$$

Массовые расходы, определенные по формулам выше, должны быть схожи, расхождение результатов не должно превышать 5 %.

Расход воздуха, необходимый для растворения углекислого газа по ПДК определяется по формуле [5]:

$$G''_{\text{п}} = \frac{M_{\text{CO}_2} \cdot \rho}{c_{\text{y}} - c_{\text{н}}} \quad (5)$$

где c_{y} – концентрация углекислого газа в удаляемом воздухе, л/м³ (принимается равной ПДК: для зрительных залов с кратковременным пребыванием людей $c_{\text{y}} = 2,0$ л/м³);

$c_{\text{н}}$ – содержанием CO_2 в наружном воздухе, л/м³ (в черте города 0,5 л/м³, в загородной зоне 0,4 л/м³);

ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³.

Минимальный массовый расход наружного воздуха определяется по формуле [5]:

$$G_{\text{min}} = l_{\text{min}} \cdot n \cdot \rho, \quad (6)$$

где l_{min} – минимальный расход наружного воздуха на одно рабочее место, м³/ч;

n – количество рабочих мест в помещении;

ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³.

Определение требуемого воздухообмена для производственных помещений требует более полного учета всех вредных факторов, сопутствующих технологическому процессу.

Для теплого и холодного периода года за необходимое количество теплообмена принимается наибольшее значение расхода приточного воздуха.

Для схем с использованием рециркуляции расход наружного воздуха принимается равным минимальному массовому расходу наружного воздуха $G_{\text{н}} = G_{\text{min}}$. Количество рециркуляционного воздуха определяется как разница между расходами приточного и наружного воздуха.

На выбор оптимальной схемы СКВ также должны влиять объемы капитальных затрат, назначение помещения, архитектурные и конструктивные ограничения, приемлемый уровень шума в помещении с людьми, годовые эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание [8].

Результаты исследования

Авторами было проведено исследование работы СКВ для выбранного помещения с целью определения наиболее эффективной схемы.

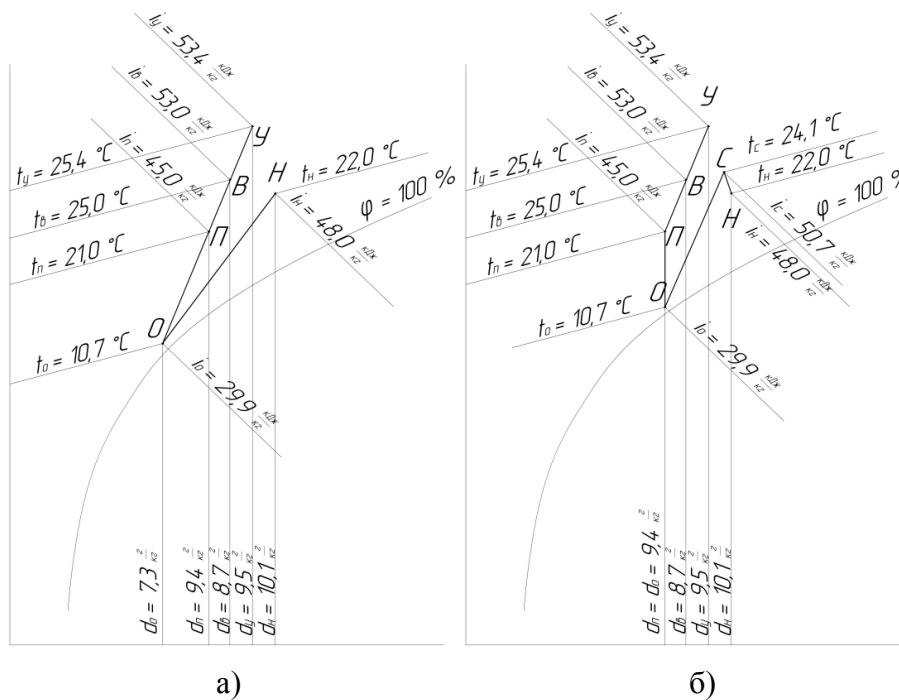
Для анализа схем СКВ в качестве объекта исследования принято общественное здание, расположенное в г. Смоленск. Исследования были проведены для теплого и холодного периодов года. Параметры наружного воздуха³ для теплого периода: температура $t_n = 22\text{ }^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_n = 77\%$, влагосодержание $d_n = 6,40\text{ г/кг}$; для холодного периода: температура $t_n = -25\text{ }^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_n = 85\%$, влагосодержание $d_n = 0,40\text{ г/кг}$. Параметры внутреннего воздуха⁴ для теплого периода: температура $t_b = 19\text{ }^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_b = 53\%$; для холодного периода: температура $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$, влажность $\varphi_b = 60\%$.

Таблица 1

Результаты расчета для теплого периода

	Ед. изм.	Схема:		
		прямоточная	с рециркуляцией после оросительной камеры	с рециркуляцией до оросительной камеры
Энергия, потребляемая на охлаждение, Q_x	кВт	32,22	30,19	65,71
Энергия, потребляемая на подогрев, $Q_{\text{п}}$	кВт	19,59	0	19,59
Суммарная энергия, Q	кВт	51,81	30,19	85,30
Экономия энергии, $Q_{\text{эк}}$	кВт	0	21,62	-
	%	0	41,73	-

Составлено авторами



НС – процесс смешения наружного воздуха и рециркуляционного; НО, СО – процесс охлаждения и увлажнения воздуха в оросительной камере; ОП – процесс смешения воздуха на выходе из оросительной камеры с рециркуляционным; ОП – процесс подогрева воздушной смеси; ПУ – процесс изменения параметров воздуха в помещении

Рисунок 6. Процессы подготовки воздуха на $i-d$ диаграмме в теплый период года с использованием рециркуляции при смешении: а) после оросительной камеры; б) до оросительной камеры (составлено авторами)

³ СП 131.13330.2012 Строительная климатология: свод правил: утв. Приказом Министерства регионального развития РФ 30.06.12: срок введ. в д. 01.01.2013.

⁴ СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха: свод правил: утв. Приказом Министерства регионального развития РФ 30.06.2012: взамен СНиП 41-01-2003: срок введ. в д. 01.01.2013.

По методике расчета для рассматриваемого объекта была определена величина требуемого воздухообмена для теплого периода года $G = 11350$ кг/ч.

По данным, полученным при построении процессов подготовки воздуха на $i-d$ диаграмме для теплого периода, для СКВ с использованием рециркуляции после оросительной камеры (рисунок 6а) и до оросительной камеры (рисунок 6б) были рассчитано их энергопотребление. Результаты расчетов представлены в таблице 1 и в виде диаграммы на рисунке 7.

Для базовой прямооточной схемы полное потребление принимается за 100 %. Из расчетов можно отметить, что процент экономии энергии в схеме подготовки воздуха с использованием рециркуляции после оросительной камеры составил 41,73 %.

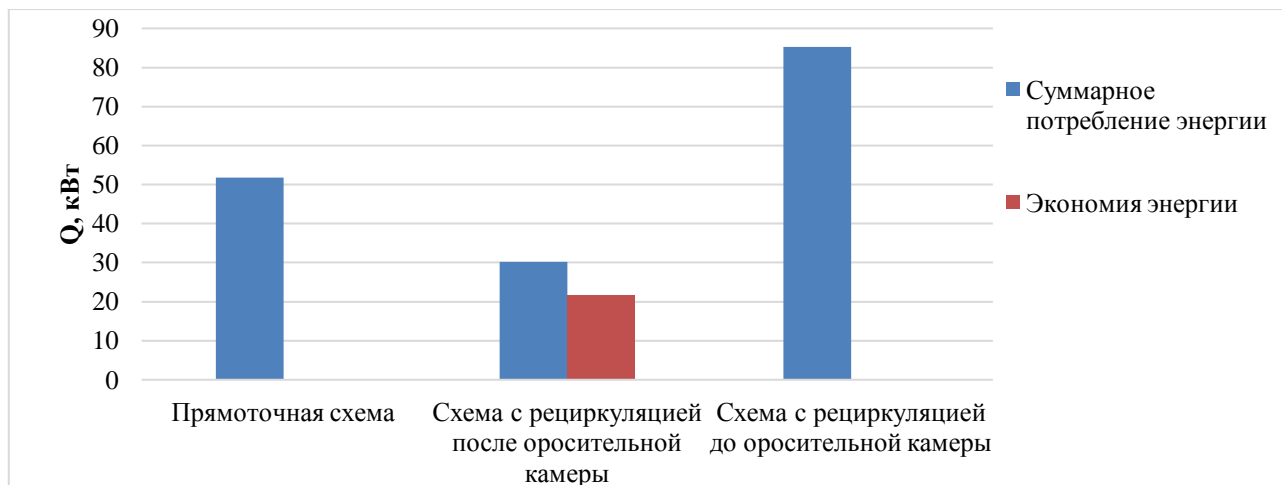


Рисунок 7. Сравнение схем подготовки воздуха в теплый период года (составлено авторами)

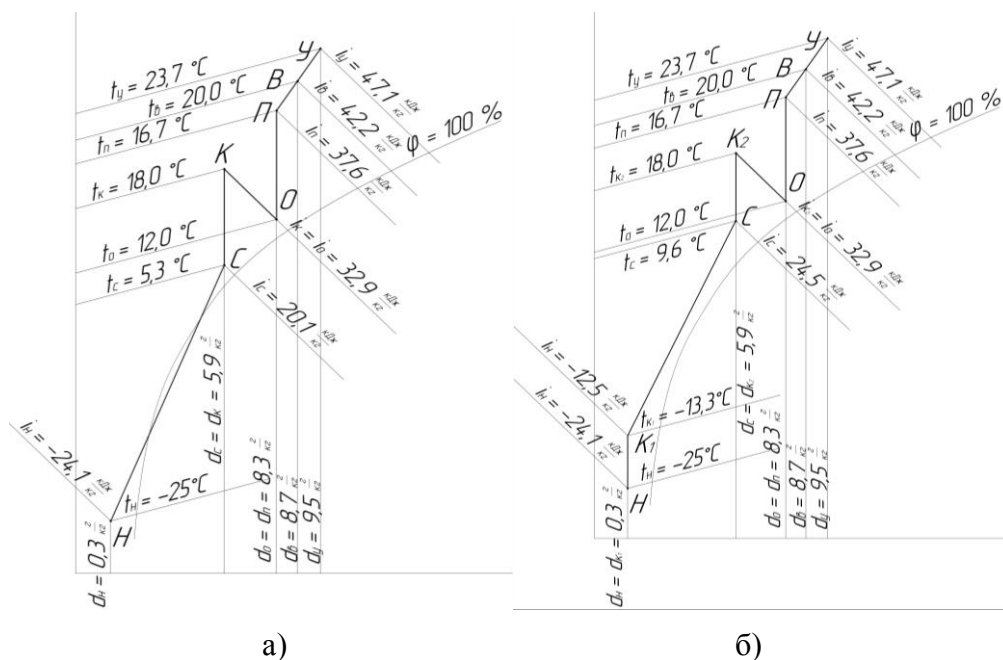
В схеме с использованием рециркуляции до оросительной камеры потребление энергии больше, чем в базовая прямооточная схема, для заданных параметров и помещения. Из чего следует, что схема с использованием двойной рециркуляции также не будет обеспечивать экономию энергии [9]. Это обусловлено тем, что температура удаляемого воздуха больше, чем температура наружного, значит при использовании воздушной смеси потребуется больше энергии в оросительной камере, чем если бы на охлаждение подавался только наружный воздух.

Использование схемы с рециркуляцией до оросительной камеры и с двойной рециркуляцией будет целесообразно, когда температура удаляемого воздуха будет меньше температуры наружного воздуха. Тогда при смешении воздушная смесь будет иметь температуру меньше, чем наружный воздух, а значит будет обеспечиваться экономия энергии в оросительной камере [10].

По результатам расчетов и представленной диаграмме можно отметить, что эффективной схемой, с точки зрения экономии энергопотребления, в теплый период года является схема подготовки воздуха с использованием рециркуляции после оросительной камеры, так как она обеспечивает большой процент экономии по сравнению с прямооточной схемой.

Схема с использованием первой и второй рециркуляции требует большие капитальные затраты по сравнению со схемой с рециркуляцией после оросительной камеры, при использовании которой экономия энергии на получение холода происходит за счет уменьшения расхода воздуха, проходящего через оросительную камеру, а затраты на подогрев приточного воздуха можно полностью заменить рециркуляцией.

Для анализа работы схем подготовки в холодный период величина требуемого воздухообмена принимается равной требуемому воздухообмену в теплом периоде. Расчет энергопотребления схем для холодного периода проводится аналогично теплому.



НС – процесс смешения наружного и рециркуляционного воздуха; СК, СК₂ – процесс нагрева воздушной смеси; КО, К₂О – процесс увлажнения воздушной смеси в оросительной камере; ОП – процесс нагрева воздушной смеси до параметров приточного воздуха; ПУ – процесс изменения параметров воздушной смеси в помещении; НК₁ – процесс нагрева наружного воздуха; К₁С – процесс смешения подогретого и рециркуляционного воздуха

Рисунок 8. Процессы подготовки воздуха на *i-d* диаграмме в холодный период года с использованием рециркуляции при смешении: а) до калорифера; б) после калорифера (составлено авторами)

По данным, полученным при построении процессов подготовки воздуха на *i-d* диаграмме для холодного периода, для СКВ с использованием рециркуляции до калорифера (рисунок 8а), после калорифера (рисунок 8б), и с двойной рециркуляцией (рисунок 9), были рассчитаны энергопотребления рассмотренных схем.

Результаты расчетов представлены в таблице 3 и в виде диаграммы на рисунке 10.

По результатам расчетов можно отметить, что процент экономии энергии в схеме подготовки воздуха с использованием рециркуляции до калорифера составила 71,89 %, в схеме с использованием рециркуляции после калорифера – 69,75 %, в схеме с двойной рециркуляцией – 59,97 %.

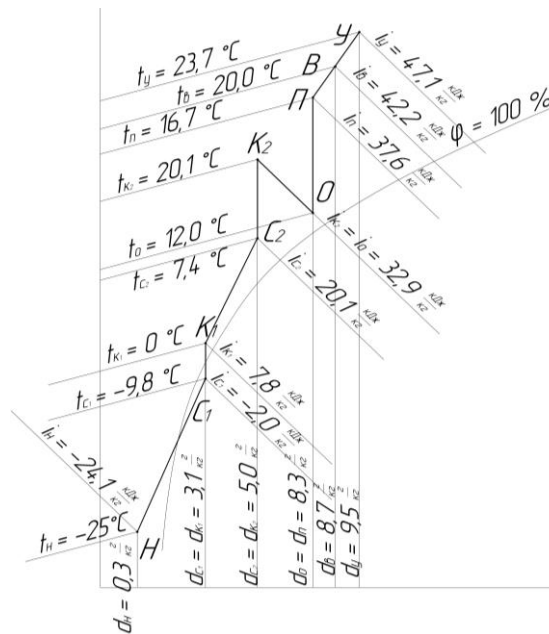
Таблица 2

**Результаты расчетов энергопотреблений
в различных схемах подготовки воздуха в холодный период года**

	Ед. изм.	Схема:			
		прямоточная	с рециркуляции до калорифера	с рециркуляции после калорифера	с двойной рециркуляцией
Энергия, потребляемая на охлаждение, Q_x	кВт	62,24	19,05	19,05	25,72
Энергия, потребляемая на подогрев, $Q_{\text{п}}$	кВт	192,07	52,44	57,89	76,09
Суммарная энергия, Q	кВт	254,31	71,49	76,94	101,81
Экономия энергии, $Q_{\text{эк}}$	кВт	0	182,82	177,37	152,50
	%	0	71,89	69,75	59,97

Составлено авторами

Схема подготовки воздуха с использованием двойной рециркуляции не является эффективной для заданных параметров и помещения, так как дает процент экономии меньше, чем другие схемы энергосбережения. Также данная схема является менее надежной из-за большего числа компонентов схемы.



$HС_1$ – процесс смешения наружного воздуха и рециркуляционного (первая рециркуляция); $С_1К_1$ – процесс подогрева воздушной смеси; $К_1С_2$ – процесс смешения воздушной смеси и рециркуляционного воздуха (вторая рециркуляция); $С_2К_2$ – процесс подогрева воздушной смеси; $К_2О$ – процесс увлажнения воздушной смеси в оросительной камере; $ОП$ – процесс нагрева воздушной смеси до параметров приточного воздуха; $ПУ$ – процесс изменения параметров воздуха в помещении

Рисунок 9. Процессы подготовки воздуха на $i-d$ диаграмме в холодный период года с использованием двойной рециркуляции (составлено авторами)

При сравнении схем с использованием рециркуляции до и после калорифера можно отметить, что затраты теплоты на подогрев воздуха по представленным схемам практически одинаковы и дают значительный процент экономии теплоты по сравнению с базовым вариантом. Но в схеме с рециркуляцией до калорифера появляется возможность образования конденсата, тогда для эффективного использования данной схемы и предотвращения обмерзания необходимо установить отвод конденсата.

В практике выбор схемы подготовки воздуха во многом зависит от параметров наружного воздуха.

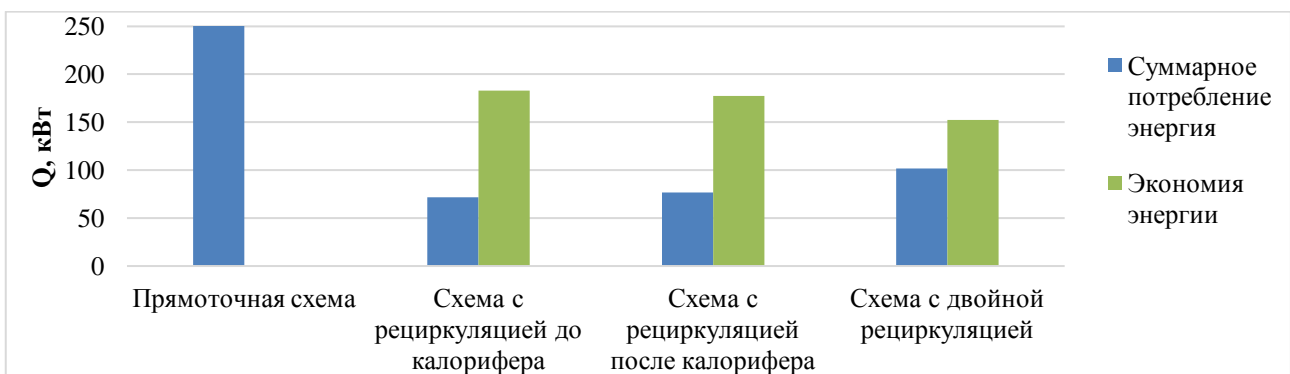


Рисунок 10. Сравнение схем подготовки воздуха в холодный период года (составлено авторами)

Как показали исследования, представленный в таблице 3, при температуре наружного воздуха меньшей $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ использование только рециркуляции становится невозможным из-за обмерзания воздухопроводов, поэтому оптимальной будет схема с использованием первого и второго подогрева. При температуре наружного воздуха большей $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ оптимальной будет схема с использованием рециркуляции до калорифера.

Таблица 3

Выбор схемы подготовки воздуха в зависимости от температуры наружного воздуха

$t_{н},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$d_{н},\text{ г/кг}$	$t_{с},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$d_{с},\text{ г/кг}$	%
-25	0,391	8,052	5,798	$\varphi > 100\%$
-20	0,608	9,695	5,869	
-15	0,948	11,339	5,981	
-10	1,397	12,983	6,128	
-5	2,069	14,627	6,350	$\varphi < 100\%$
0	2,979	16,271	6,649	

Составлено авторами

где $d_{н}, d_{с}$ – влагосодержание наружного воздуха, смеси (г/кг); $t_{с}$ – температура смеси ($^{\circ}\text{C}$); φ – влажность воздуха (%).

По результатам расчетов и представленной диаграмме можно отметить, что эффективной схемой экономии энергопотребления в холодный период года является схема подготовки воздуха с использованием рециркуляции после калорифера. Так как она обеспечивает большой процент экономии по сравнению с прямоточной схемой, нет угрозы обледенения системы, и она надежней схемы с использованием двойной рециркуляции.

Выводы

Таким образом, полученные результаты исследования показывают несомненное преимущество применения рециркуляции воздуха в СКВ.

Можно дать следующие рекомендации для зданий представленной категории и расположенных в климатических зонах при близких параметрах наружного воздуха:

1. Для холодного периода года оптимальной схемой подготовки воздуха является схема с использованием рециркуляции после калорифера, позволяющая по сравнению с прямоточной схемой обеспечить экономию энергии до 70 %.
2. Для теплого периода года оптимальной схемой подготовки воздуха является схема с использованием рециркуляции после оросительной камеры, позволяющая по сравнению с прямоточной схемой обеспечить экономию энергии до 40 %.
3. Аналогичные исследования с оценкой экономичности применения различных схем СКВ целесообразно выполнять для характерных климатических зон на предварительном этапе проектирования систем.

Следует заметить, что вопросы применения рециркуляции также актуальны и для производственных зданий, но в этом случае на величину рециркуляции накладываются дополнительные условия: обеспечение требуемого количества свежего воздуха на каждое рабочее место, требуемая кратность воздухообмена, и в целом возможность использования рециркуляции воздуха, связанная с запыленностью, загазованностью, содержанием паров вредных и опасных веществ в удаляемом воздухе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. 2003. – 416 с.
2. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: Авок Северо-Запад. 2005. – 399 с.
3. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е.М. Белова. – М.: ЕВРОКЛИМАТ, 2006. – 639 с.
4. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. 2003, 400 с.
5. 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.
6. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982. – 273 с.
7. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. – 272 с.
8. 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.
9. Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. Оценка эффективности применения рециркуляции в системах вентиляции воздуха // Сборник трудов VII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2017» 23–24 ноября 2017 года. Т. 1. Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ». Смоленск. 2017. С. 86–90.
10. Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. Оценка эффективности применения рециркуляции в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2018» 18–19 октября 2018 года. Т. 1. Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ». Смоленск. 2018. С. 109–114.

Kabanova Irina Aleksandrovna

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

Bezfamilnaya Ekaterina Viktorovna

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

Effectiveness evaluation of heating and humidification in air conditioning systems with recirculation

Abstract. Energy consumption is increasing every year. The ventilation and air conditioning systems are among the engineering systems that consume a large amount of energy resources. They are responsible for about 25–50 % of total energy consumption in modern buildings.

The authors examined one of the possible methods of reducing energy consumption by these systems, namely the use of air recirculation schemes. The purpose of the study is to provide a comparative analysis of the operation of air conditioning systems based on various schemes of heating and humidification and evaluations of energy consumption to ensure optimal parameters of the indoor microclimate. To achieve this goal, the most common air preparation schemes were considered, and energy consumption was estimated. Various schemes of the air conditioning system that use recirculation as one of the most common ways to reduce energy consumption are analyzed; the features of air handling, advantages and disadvantages of the schemes are studied. On the basis of analysis of the method of calculating the required air exchange, the following is considered: heat and humidity balance of premises, designing the processes of air handling on the i-d diagram of moist air, calculations. For a comparative evaluation of the schemes based on heating and humidifying air, the total energy consumption of the given schemes was evaluated.

Estimations were made for the warm and cold periods of the year, for one of the climatic zones; a public building was accepted as the object of research.

The performed calculations allowed us to determine the energy consumption savings and give practical recommendations on the feasibility of using schemes with air recirculation based on the peculiarities of heating and humidification for the considered object of research.

Keywords: air conditioning; ventilation; recirculation; heater; irrigation chamber; heat and humidity treatment; microclimate; i-d diagram