

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN217.pdf>

Статья опубликована 25.05.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Лебедев В.В., Сумзина Л.В., Максимов А.В., Кудров Ю.В., Бурцева Л.А. Техничко-экономическая оптимизация параметров кондиционеров // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.56; 697.94

Лебедев Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, дачный поселок Черкизово¹
Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»
Кандидат технических наук
E-mail: voval_matr@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=648157

Сумзина Лариса Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, дачный поселок Черкизово
Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»
Кандидат технических наук
E-mail: bytech1@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=633241

Максимов Александр Васильевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, дачный поселок Черкизово
Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»
Кандидат технических наук
E-mail: maksimovav52@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=227609

Кудров Юрий Владимирович

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, дачный поселок Черкизово
Старший преподаватель кафедры «Сервисного инжиниринга»
E-mail: yurakudrov@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=647902

Бурцева Людмила Александровна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, дачный поселок Черкизово
Аспирант кафедры «Сервисного инжиниринга»
E-mail: lyudmilamaksimova@yandex.ru

**Техничко-экономическая оптимизация
параметров кондиционеров**

Аннотация. В работе показано значение необходимости решения задач оптимизации на всех стадиях жизненного цикла систем. Исследование выполнено методами имитационного моделирования. В статье представлены теплофизические и технико-экономические

¹ 141221, РФ, Московская обл., Пушкинский район, дачный посёлок Черкизово, улица Главная, 99, факультет «Сервиса», кафедра «Сервисного инжиниринга»

составляющие модели системы кондиционирования, рассмотрены критерии оптимизации, дан анализ целевых функций, рассмотрены ключевые факторы оптимизации. При исследовании сложных систем, к которым относятся системы кондиционирования, оптимизация, как правило, бывает многофакторной и носит многоцелевой характер. Авторами рассматриваются вопросы многоцелевой оптимизации по критериям минимума капитальных затрат и эксплуатационных издержек. Поиск оптимального решения при многоцелевой оптимизации системы производится путем нахождения минимума двухцелевого вектора, сформированного методом линейно-весовых компромиссов по Парето из целевых функций суммарных капитальных затрат и общих эксплуатационных издержек. Задачи решены в среде MathCAD. Результаты исследований показывают, что поведение технико-экономических характеристик систем кондиционирования в областях, окружающих области оптимальных решений показывают значительные отклонения от минимальных значений. При этом имеют место тенденции к значительному росту отклонений при удалении технических параметров от оптимальных значений. Это касается как капитальных вложений, так и эксплуатационных издержек. Производство и эксплуатация кондиционеров с параметрами, сильно не соответствующими оптимальным значениям, приведет к росту расхода материально-энергетических ресурсов. Исследование позволяет установить границы области оптимальных значений ключевых факторов, которые можно рекомендовать в качестве предпочтительных параметров при проектировании систем кондиционирования.

Ключевые слова: кондиционирование; компоненты системы: испаритель, конденсатор, компрессор, вентилятор; холодильная машина; холодильный цикл; технико-экономическая оптимизация; цели оптимизации; целевые функции; критерии оптимизации; параметры и факторы; многоцелевые векторы по Парето; области оптимальных решений

Экономить материально-энергетические ресурсы важно на всех стадиях жизненного цикла всех технических объектов. Эффективность этой работы способна обеспечить рост экономических и экологических показателей экономики в целом. Экономия на всех этапах достигается путем снижения капитальных и эксплуатационных затрат при условии сохранения требуемого уровня качества. Добиться снижения капитальных затрат и эксплуатационных издержек при сохранении качественного уровня можно, оптимизируя параметры системы. Это чрезвычайно важная, но трудная задача, решение которой довольно часто осложнено многофакторным характером зависимости исследуемых эффектов от ключевых параметров, что типично в любой сложной системе. К таким системам, по-видимому, можно отнести и системы кондиционирования [1-4]. Однако, часто можно выделить некоторые главные подзадачи оптимизации и применить приемы редукционной декомпозиции, снижая размерность задачи. Еще одной проблемой может стать многоцелевой характер оптимизационных задач. Рассмотрим эти вопросы в работе подробнее.

Отдельно хочется отметить снижение в последнее время у нас интереса к вопросам технической оптимизации, если судить по снижению числа публикаций на эту тему по сравнению с концом 80-х началом 90-х годов XX-го века. Это, возможно, с одной стороны, объясняется перестройкой экономики, которая со второй половины 90-х годов XX-го века по настоящее время была ориентирована на импорт высокотехнологичной техники при снижении собственного производства и, следовательно, интереса к ее разработке, а, с другой стороны, узко корпоративным стремлением приватизировать и сделать закрытыми эти знания и технологии. Стремление развивать свою экономику в направлении развития высокотехнологичных отраслей, производящих качественную и конкурентоспособную технику, идти по пути импортозамещения, требует заниматься этими проблемами, чтобы не отставать от ведущих в технологическом отношении экономик. В этой связи, и подготовка

квалифицированных кадров, владеющих прогрессивными методами проектирования, также является актуальной задачей, решение которой, по крайней мере, требует уделять больше внимания вопросам обеспечения в образовательной сфере и инженерно-техническом процессе информационной доступности знаний в этой области. Актуальность вопросов повышения эффективности использования материально-энергетических ресурсов осознается и в научно-техническом сообществе, а также на государственном уровне. Авторы также в своих работах неоднократно поднимали эти вопросы [5-9].

Оптимизация параметров системы кондиционирования

Применительно к системе кондиционирования предлагаем рассмотреть следующие задачи оптимизации.

Оптимизация параметров холодильной машины.

Оптимизация минимальных перепадов температур в теплообменниках кондиционера (испарителе и конденсаторе) выполняется при заданной холодопроизводительности системы кондиционирования. Величина средней разности температур будет определяться величиной минимального перепада температур. Площадь теплообменной поверхности, а, следовательно, размер и стоимость теплообменника, будет зависеть от средней разности температур. При уменьшении средней разности температур возрастет площадь теплообменной поверхности, но снизится мощность привода холодильной машины кондиционера. Таким образом, при оптимизации разностей температур мы оптимизируем капитальные и эксплуатационные затраты на холодильную машину кондиционера [10].

Оптимизация теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций. Улучшение теплозащитных свойств зданий приводит к снижению холодопроизводительности холодильной машины кондиционера и, следовательно, его цены, но сопряжено с ростом капитальных затрат на конструкцию ограждений здания. Здесь также просматриваются конкурирующие тенденции. При оптимизации мощности теплоизоляции мы, таким образом, также оптимизируем капитальные затраты на кондиционер и на ограждающие конструкции здания. Осуществление этой задачи актуально, прежде всего, при разработке системы центрального кондиционирования, интегрированной в инженерные системы механической вентиляции зданий. В целевую функцию должны быть включены экономические параметры, связанные с устройством системы теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Это значительно затрудняет ее получение и анализ.

В обоих вариантах в качестве критериев оптимизации можно рассмотреть суммарную стоимость системы, сумму эксплуатационных издержек и отчислений на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание, связанных с эксплуатацией системы кондиционирования. Критерии оптимизации будут представлять функции переменных параметров, подлежащих оптимизации. Эти функции называются целевыми. Исходя из сущности предложенных критериев, очевидно, оптимальный вариант должен соответствовать минимуму целевой функции.

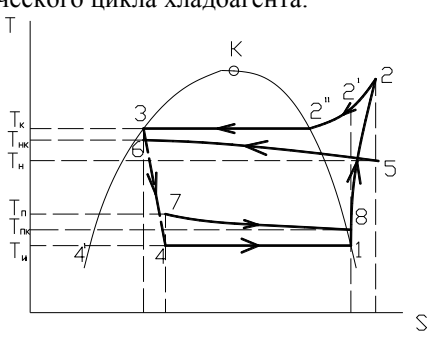
Остановимся на рассмотрении решения первой задачи, которую можно, например, применить к автономной системе кондиционирования воздуха в отдельном помещении. Рассмотрим модель технико-экономической эффективности системы кондиционирования.

Составляющие модели и целевой функции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Составляющие целевой функции

№ п/п	Вид функций	Вид составляющих модели и аргументов
1	$C_{и}(F_{и}) = A + B \cdot F_{и}$ $A = 1521,9 \text{ руб.}$ $B = 1202,97 \text{ руб./м}^2$ <p>Линейная функция стоимости испарителя от величины поверхности теплообмена получена интерполяцией данных прайс-листов ведущих фирм см. рис. 1.</p>	$F_{и} = \frac{Q_{иН}}{K_{и} \cdot \Delta t_{и}}$ <p>$Q_{иН}$ - номинальная холодопроизводительность испарителя, Вт; $F_{и}$ - площадь теплообменной поверхности, м²; $K_{и}$ - коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; $\Delta t_{и}$ - средняя разность температур в теплообменнике между теплоносителями, °C.</p> $\Delta t_{и} = \frac{t_{Пн} - t_{Пк}}{\ln \frac{t_{Пн} - t_{и}}{t_{Пк} - t_{и}}} = \frac{[\Delta t_{ВИ}]}{\ln \left(1 + \frac{[\Delta t_{ВИ}]}{\Delta t_{и\min}} \right)}$ $t_{и} = t_{Пк} - \Delta t_{и\min} = t_{Пн} - [\Delta t_{ВИ}] - \Delta t_{и\min}$ <p>$t_{и}$ - температура кипения в испарителе, °C; $t_{Пн}$ - температура воздуха, поддерживаемая в помещении, °C; $t_{Пк}$ - температура воздуха, после испарителя, °C; $[\Delta t_{ВИ}]$ - допустимое охлаждение воздуха в испарителе, °C; $\Delta t_{и\min}$ - минимальная разность температур в испарителе, т.е. разность температур между температурой охлажденного воздуха и температурой кипения, °C.</p>
2	$C_{к}(F_{к}) = A + B \cdot F_{к}$ $A = 642,3 \text{ руб.}$ $B = 874,99 \text{ руб./м}^2$ <p>Линейная функция стоимости конденсатора от величины поверхности теплообмена получена интерполяцией данных прайс-листов ведущих фирм см. рис. 2.</p>	$F_{к} = \frac{Q_{к}}{K_{к} \cdot \Delta t_{к}}, \text{ где}$ <p>$Q_{к} = Q_{иН} + N_{к}$ - тепловая нагрузка на конденсатор, Вт; $N_{к}$ - мощность компрессора, Вт; $F_{к}$ - площадь теплообменной поверхности, м²; $K_{к}$ - коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; $\Delta t_{к}$ - средняя разность температур в теплообменнике между теплоносителями, °C.</p>

№ п/п	Вид функций	Вид составляющих модели и аргументов
		$\overline{\Delta t_K} = \frac{t_{Hк} - t_{Hн}}{\ln \frac{t_{Hк} - t_K}{t_{Hн} - t_K}} = \frac{[\Delta t_{BK}]}{\ln \left(1 + \frac{[\Delta t_{BK}]}{\Delta t_{K \min}} \right)}$ $t_K = t_{Hн} - \Delta t_{K \min}$ $t_{Hк} = t_{Hн} + \Delta t_{BK}$ <p> t_K - температура конденсации в конденсаторе, °C; $t_{Hн}$ - температура наружного воздуха, °C; $t_{Hк}$ - температура воздуха, покидающего конденсатор, °C; $[\Delta t_{BK}]$ - нагревание воздуха в конденсаторе, °C; $\Delta t_{K \min}$ - минимальная разность температур в конденсаторе, т.е. разность температур между температурой наружного воздуха и температурой конденсации, °C. </p>
3	$C_{\text{кмп}}(N_k) = A + B \cdot N_k$ $A = 3354,4 \text{ руб.}$ $B = 9,2 \text{ руб./Вт}$ <p>Линейная функция стоимости компрессора от мощности получена интерполяцией данных прайс-листов ведущих фирм см. рис. 3.</p>	<p>N_k - мощность компрессора, которая есть функция температуры и давлений хладагента в испарителе t_i, P_i, температуры и давления в конденсаторе t_k, P_k, холодопроизводительности испарителя. Расчет этой функции основан на использовании термодинамических функций хладагента и зависит от типичных характеристик термодинамического цикла (типы протекающих процессов) [11, 12], см. T-S-диаграмму парокомпрессионного термодинамического цикла хладагента:</p>  <p>T-S - диаграмма 4-1 процесс кипения в испарителе; 1-2 процесс сжатия в компрессоре; 2-3 процесс конденсации в конденсаторе; 3-4 процесс дросселирования.</p> $N_k = \frac{1}{\eta_{\text{эм}}} \cdot \frac{Q_{\text{и}}}{q_0} \cdot (I_2 - I_1)$ <p>- мощность привода компрессора, Вт; $\eta_{\text{эм}}$ - электромеханический КПД привода; $q_0 = I_1 - I_3$ - удельная холодопроизводительность, Дж/кг.</p>

№ п/п	Вид функций	Вид составляющих модели и аргументов
		I_1, I_2, I_3, I_4 - энтальпия хладагента в рабочих точках цикла, Дж/кг, является функцией давления и температуры t, P
4	$C_v(L) = A + B \cdot L$ $A = 1474,9 \text{ руб.}$ $B = 2,7 \text{ руб./}(м^3/\text{час})$ <p>Линейная функция стоимости вентилятора от производительности получена интерполяцией данных прайс-листов ведущих фирм см. рис. 4.</p>	$L_{ВИ} = \frac{3600 \cdot Q_{ИИ}}{(C \cdot \rho)_В \cdot [\Delta T_{ВИ}]}$ - производительность вентилятора испарителя, м ³ /час; $L_{ВК} = \frac{3600 \cdot Q_{К}}{(C \cdot \rho)_В \cdot [\Delta T_{ВК}]}$ - производительность вентилятора конденсатора, м ³ /час.
5	$\Delta P_{ТО} = 20 + 3 \cdot Q \cdot 10^{-3}$ <p>$\Delta P_{ТО}$ - потери напора при прохождении воздуха через пластинчато-ребристый (ламелевый) теплообменник, Па; Q - тепловая нагрузка пластинчато-ребристого теплообменника, Вт; 20 Па, 3 Па/кВт - коэффициенты линейной функции.</p>	$N_{в} = \frac{\Delta P_{в} \cdot L_{в}}{3600 \cdot \eta_{эм}}$ - мощность электропривода вентилятора, Вт; $\Delta P_{в}$ - потери напора в теплообменнике, Па; $L_{в}$ - производительность вентилятора, м ³ /час; $\eta_{эм}$ - электромеханический КПД привода.

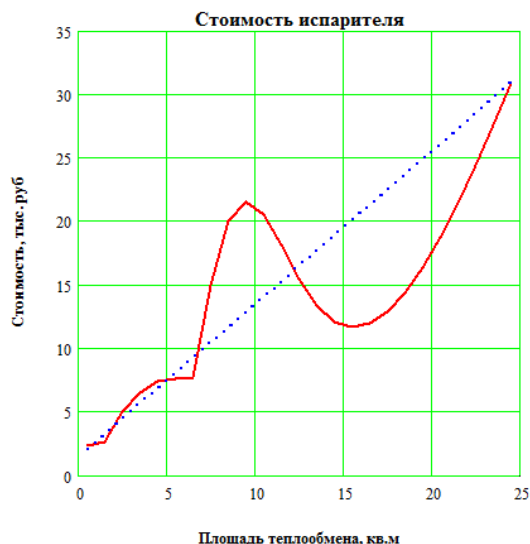
Исследование задач оптимизации будем проводить методом имитационного моделирования в среде MathCAD.

Многофакторность оптимизационной задачи, в ряде случаев, можно снижать методом редукционной декомпозиции. При этом на изменения части факторов накладываются ограничения в то время, как другие варьируют без ограничений. В частности, в нашем исследовании оптимальных значений ключевых параметров, мы принимаем значения неоптимизируемых факторов, как постоянные, соответствующие некой варианте.

Многоцелевой характер оптимизационных задач мы предлагаем исследовать дифференцированно, отдельно рассматривая представленные целевые функции, а также формируя вектор цели, представляющий собой линейную комбинацию целевых функций. Коэффициенты линейной формы вектора цели представляют собой весовые коэффициенты, учитывающие значимость для оптимизационной задачи того или иного критерия, устанавливая, таким образом, компромисс целей.

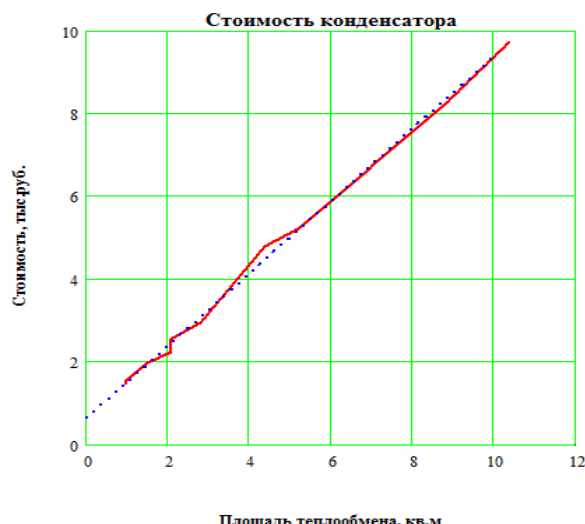
Интерпретацию результатов проводим в графической форме. На качество и общность выводов предлагаемые способы декомпозиции не повлияют, как будет показано ниже. Впрочем, результаты, полученные для границ областей оптимальных значений ключевых параметров системы кондиционирования, также определяются с достаточной для технического применения точностью.

На рисунках 1-4 представлены данные по экономическим параметрам системы кондиционирования, полученные обработкой данных ряда фирм [13].



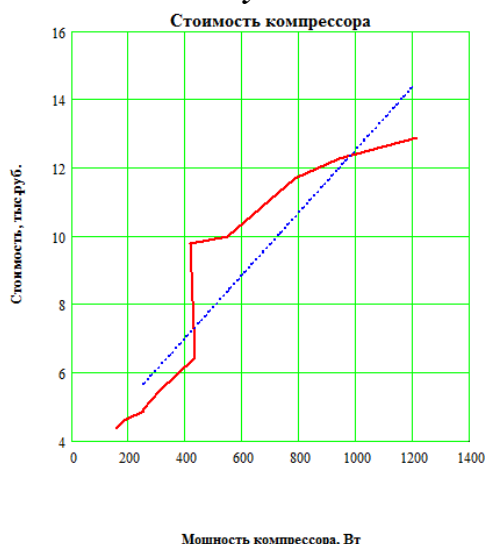
Площадь теплообмена, кв.м

Рисунок 1



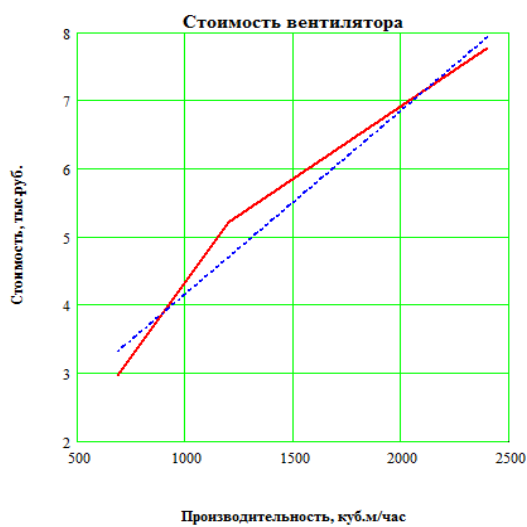
Площадь теплообмена, кв.м

Рисунок 2



Мощность компрессора, Вт

Рисунок 3



Производительность, куб.м/час

Рисунок 4

Здесь приведены линейные аппроксимации зависимости стоимости отдельных важных компонентов системы от определяющих факторов. Точность аппроксимации в рассматриваемом случае не принципиальна, важнее исследовать общий характер закономерностей и вытекающих из этого тенденций. Рассматриваемый в работе частный пример, таким образом, не снижает значения общих выводов. Конечно, фирмы, занимающиеся проектированием, производством и эксплуатацией систем кондиционирования могут, используя свои данные, провести более точные расчеты оптимизационной модели, используя предложенный здесь метод.

Рассмотрим предлагаемые в модели варианты целевых функций.

Целевая функция суммарной стоимости структурно представляет сумму стоимости испарителя, конденсатора, компрессора и вентиляторов испарителя и конденсатора, которые в общем случае зависят от температур конденсации, наружного воздуха и минимальных разностей температур в конденсаторе, и температур в испарителе:

$$C_{\Sigma}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}) = C_{\text{и}}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}) + C_{\text{к}}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}) + C_{\text{кмп}}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}) + C_{\text{ви}}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}) + C_{\text{вк}}(t_{\text{п}}, \Delta t_{\text{и}}, t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{к}}), \text{ где:}$$

C_{Σ} - функция стоимости кондиционера;

$C_{и}$ - функция стоимости испарителя;

$C_{к}$ - функция стоимости конденсатора;

$C_{кмп}$ - функция стоимости компрессора;

$C_{ви}$ - функция стоимости вентилятора испарителя;

$C_{вк}$ - функция стоимости вентилятора конденсатора;

$t_{п}$ - температура воздуха в помещении;

$t_{н}$ - температура наружного воздуха;

$\Delta t_{и}$ - минимальная разность температур между охлажденным воздухом и кипящим хладагентом;

$\Delta t_{к}$ - минимальная разность температур между наружным воздухом и конденсирующимся хладагентом.

Целевая функция суммы эксплуатационных издержек и отчислений также структурно представляет сумму отчислений, связанных с амортизацией, техническим обслуживанием и ремонтом, и эксплуатационных издержек, связанных со стоимостью электроэнергии, потребляемой при работе кондиционера. Электроэнергия расходуется электроприводами компрессора и вентиляторов испарителя и конденсатора кондиционера. Функция суммы эксплуатационных издержек имеет вид:

$$C(t_{п}, \Delta t_{и}, t_{н}, \Delta t_{к}) = C_{\Sigma}(t_{п}, \Delta t_{и}, t_{н}, \Delta t_{к}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{мон}}{100} + \frac{\alpha_{пн}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{ам}}{100} + \frac{\alpha_{то}}{100} + \frac{\alpha_{рем}}{100}\right) + T_{д} \cdot T_{ч} \cdot (N_{к} + N_{ви} + N_{вк}) \cdot 10^{-3} \cdot C_{эл}$$

, где:

$\alpha_{мон}, \alpha_{пн}, \alpha_{ам}, \alpha_{то}, \alpha_{рем}$ - отчисления на монтаж, пусконаладочные работы, амортизацию, техническое обслуживание и ремонт, %;

$T_{д}$ - период работы кондиционера, дней/год;

$T_{ч}$ - период работы кондиционера, час/день;

$N_{к}, N_{ви}, N_{вк}$ - мощность электропривода, компрессора, вентилятора испарителя и вентилятора конденсатора, Вт;

$C_{эл}$ - тариф оплаты электроэнергии, руб./кВт·ч.

Коэффициенты отчислений принимаются в соответствии с рекомендуемыми значениями [14, 15].

Мощность электропривода вентиляторов определяется произведением производительности на создаваемый напор, который при работе на сеть должен быть равен потерям напора в каналах теплообменников.

Производительность вентиляторов определяется в зависимости от тепловой нагрузки теплообменников, через которые они прокачивают воздух, и от принимаемого изменения температуры воздуха, при его прохождении через теплообменники.

При моделировании принимаем допущение, что потери напора вентилятора равны потерям напора в теплообменнике. Таким образом, затраты энергии на прокачку воздуха зависят в модели от тепловой нагрузки и температур воздуха на входе и выходе теплообменников.

Потери напора, в общем случае, зависят от скорости прохождения воздуха через теплообменник, от геометрической конфигурации каналов теплообменника, от материала, а также других факторов, например, наличия влаговыведения на поверхности теплообмена или в каналах. Учет этих факторов необходим при выполнении полнопрофильного проектирования. Здесь используется обобщенная зависимость, полученная на основе линейной интерполяции данных испытаний ряда фирм [13]. Потери напора определяются приближенно и усредненно в зависимости от тепловой нагрузки теплообменника см. таблицу 1.

Принимаем также в качестве допущения, что тепловая нагрузка и расход воздуха через воздухоохладитель кондиционера, в качестве которого в рассматриваемом в работе варианте выступает испаритель холодильной машины, остаются неизменными, так как они определяются параметрами помещения, на которое работает кондиционер. Другие параметры, такие, как нагрузка на конденсатор, мощность компрессора и привода вентилятора конденсатора, будут изменяться в зависимости от изменения температур испарения, конденсации или наружного воздуха.

Результаты моделирования, представленные далее, получены для помещения общим объемом 150 м^3 , площадью примерно 50 м^2 . Теплопритоки в помещение через внешние ограждения при температурах окружающего воздуха выше 30°C , а также от тепловыделения находящихся в помещении приборов и людей оценены на уровне 21775 Вт . Тепловая мощность теплоступлений при условии отсутствия влаговыведения в охладителе воздуха представляет, таким образом, тепловую нагрузку теплообменника - воздухоохладителя, т.е. расчетную холодопроизводительность кондиционера. Температура воздуха, поддерживаемая в помещении (20°C), и температура воздуха, возвращаемого в помещение после охлаждения в испарителе, (10°C) остаются неизменными при оптимизации. В связи с этим также неизменной должна быть производительность вентилятора испарителя, которая равна $6501,6 \text{ м}^3/\text{час}$, согласно формулам, табл. 1.

Целевые функции при выполнении оптимизации выступают в качестве критериев достижения целей оптимизации. В качестве таковых можно назвать для первой функции - достичь минимума суммарной стоимости кондиционера, т.е. минимума капитальных вложений. Что касается второй функции, здесь очевидная цель - достичь минимума суммарных отчислений и издержек, связанных с эксплуатацией кондиционера.

Параметры при которых достигаются требуемые значения критериев, или наложенные на них условия, являются оптимальными.

Рассмотрим решение двух частных, но достаточно важных задач оптимизации технологических параметров кондиционера - минимальных разностей температур теплоносителей в теплообменниках - испарителе и конденсаторе. Выполняем оптимизацию по каждому параметру независимо, накладывая ограничения на другой параметр. Это позволяет

упростить задачу, снижая ее размерность до единицы. Целевые функции при этом являются параметрическими функциями одного переменного.

Оптимизацию минимальной разности температур теплоносителей в испарителе кондиционера - между кипящим хладагентом и охлажденным воздухом - производим при заданных температурах конденсации и неизменной минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе - 10°C. Оптимизацию минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе кондиционера - между конденсирующимся хладагентом и уходящим из конденсатора нагретым воздухом - выполняем при заданных температурах наружного воздуха и неизменной температуре кипения и минимальной разности температур теплоносителей в испарителе - 10°C. Неизменной также в обоих вариантах оптимизации остается изменение температуры наружного воздуха, охлаждающего конденсатор - 10°C.

Результаты оптимизации по обеим целевым функциям, выполненные отдельно по каждой из задач оптимизации представлены на рис. 5, 6 и 8, 9. Отложив обсуждение результатов, отметим различие получаемых оптимумов. Поскольку заранее трудно отдать предпочтение тем или иным целям оптимизации из двух рассмотренных, можно предложить поиск некоторого компромисса между этими решениями. Это составляет содержание задачи поиска компромиссных решений в многоцелевой оптимизации по Парето [16]. Для этого рассмотрим целевую функцию, составленную как сумму двух введенных нами выше функций с весовыми множителями, формируя, таким образом, вектор компромиссной цели:

$$C_{CP}(t_n, \Delta t_n, t_n, \Delta t_k) = \text{pareto} \cdot C(t_n, \Delta t_n, t_n, \Delta t_k) + (1 - \text{pareto}) C_{\Sigma}(t_n, \Delta t_n, t_n, \Delta t_k), \text{ где:}$$

pareto (<1) - весовой множитель (координата вектора в пространстве целей).

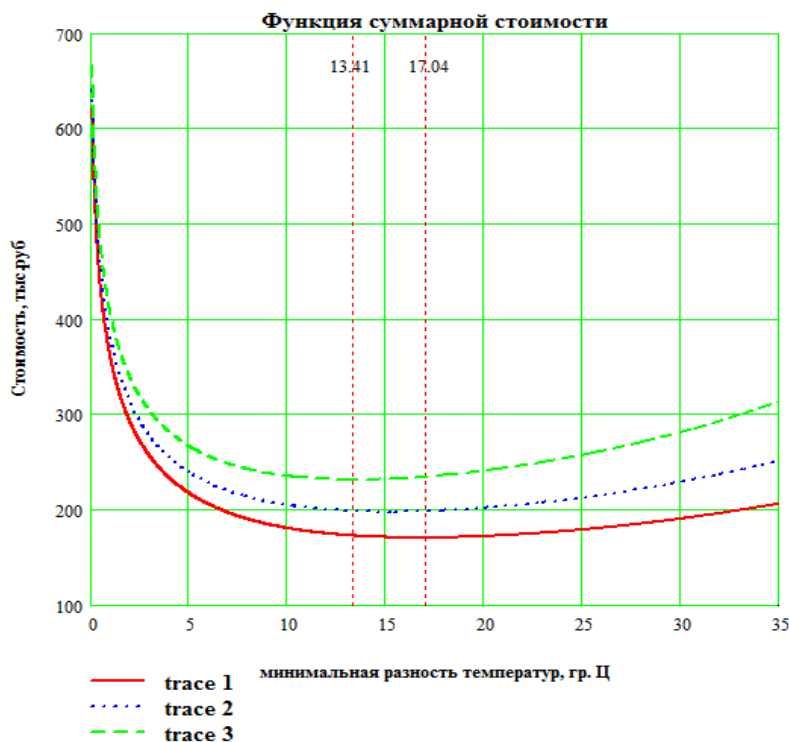
Мы рассмотрели в качестве примера нейтральный компромисс целей с весовым множителем 0,5. Результаты оптимизации представлены графически на рисунках 7 и 10.

Ниже обсуждаются некоторые результаты оптимизации, которые представлены в графической форме на рис. 5-10.

Оптимизация минимальной разности температур теплоносителей в испарителе.

Графики целевой функции - функции суммарной стоимости кондиционера от величины минимальной разности температур теплоносителей в испарителе, руб., представлены на рис. 5. Каждый график соответствует своему значению заданного параметра - температуре конденсации (40°C, 50°C и 60°C).

Характерной особенностью оптимизации данного параметра является наличие ярковыраженного минимума функции. Ход кривых объясняется влиянием конкурирующих тенденций, проявляющих себя при изменении оптимизируемого параметра. При уменьшении минимальной разности температур растет величина теплообменной поверхности испарителя, но растет температура кипения, что приводит к снижению мощности компрессора, тепловой нагрузки на конденсатор, площади его теплообменной поверхности и мощности вентилятора конденсатора, т.е. растет стоимость испарительного блока и понижается стоимость компрессорно-конденсаторного блока. При увеличении минимальной разности температур, наоборот уменьшается площадь теплообменной поверхности испарителя и снижается температура кипения, что приводит к росту мощности компрессора, тепловой нагрузки на конденсатор, площади его теплообменной поверхности и мощности вентилятора конденсатора, т.е. снижается стоимость испарительного блока и повышается стоимость компрессорно-конденсаторного блока.

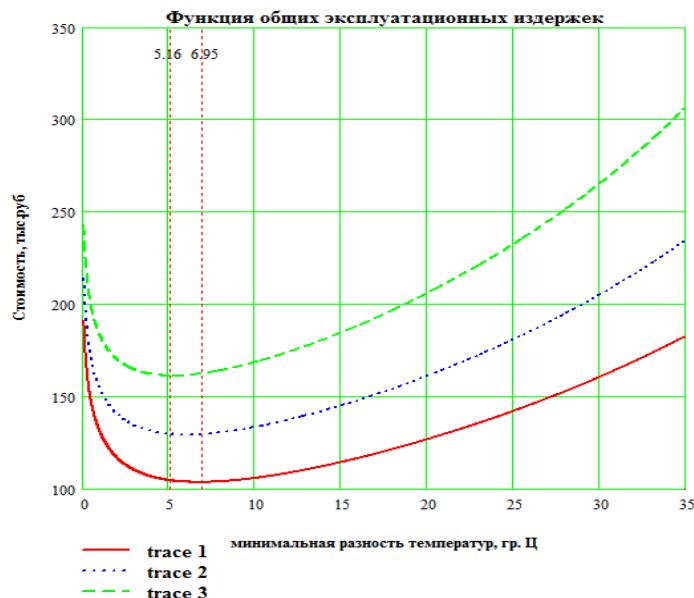


trace1 - температура конденсации 40°C
trace2 - температура конденсации 50°C
trace3 - температура конденсации 60°C

Рисунок 5. Функции общей стоимости от минимальной разности температур в испарителе

Результаты исследования целевой функции - функции суммарных эксплуатационных издержек кондиционера от величины минимальной разности температур в испарителе, руб., представлены графически на рис. 6.

Функции также имеют ярковыраженный минимум. Характер влияния оптимизируемого параметра на составляющую целевой функции, связанную с отчислениями, аналогичен ходу, рассмотренному выше для первой целевой функции, поскольку отчисления пропорциональны суммарной стоимости кондиционера. Влияние на эксплуатационные издержки, определяемые затратами электрической энергии на привод компрессора и вентиляторов, имеет следующий характер: влияние на вентиляторный блок испарителя в силу особенности данной модели отсутствует, но имеет место прямая связь роста энергетических затрат на работу компрессорно-конденсаторного блока с ростом минимальной разности температур теплоносителей в испарителе.



trace1 - температура конденсации 40°C
trace2 - температура конденсации 50°C
trace3 - температура конденсации 60°C

Рисунок 6. Функции общих эксплуатационных издержек от минимальной разности температур в испарителе

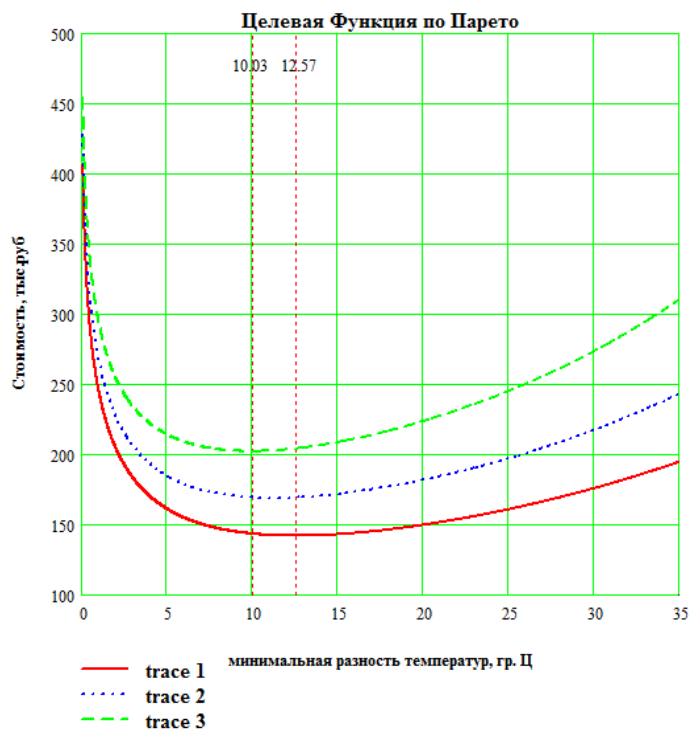
Результаты оптимизации минимальной разности температур теплоносителей в испарителе по Парето представлен на графике рис. 7.

Характер зависимости этой функции от оптимизируемого параметра принципиально не отличается от того, который уже был рассмотрен. Также имеет место наличие ярковыраженного минимума.

В целом результаты исследований целевых функций показывают возможность получения оптимальных решений по критерию минимальных капитальных вложений и эксплуатационных издержек.

Оптимумы по трем рассмотренным целевым функциям располагаются близко на перекрывающихся отрезках области изменения оптимизируемого параметра в диапазоне 5...15°C - на “дне” целевых функций.

Изменения величины рассматриваемых функций в этом диапазоне незначительны, поэтому этот диапазон значений минимальной разности температур теплоносителей в испарителе можно рекомендовать для выбора при проектировании, гарантируя минимум капитальных вложений и эксплуатационных издержек.



trace1 - температура конденсации 40°C
trace2 - температура конденсации 50°C
trace3 - температура конденсации 60°C

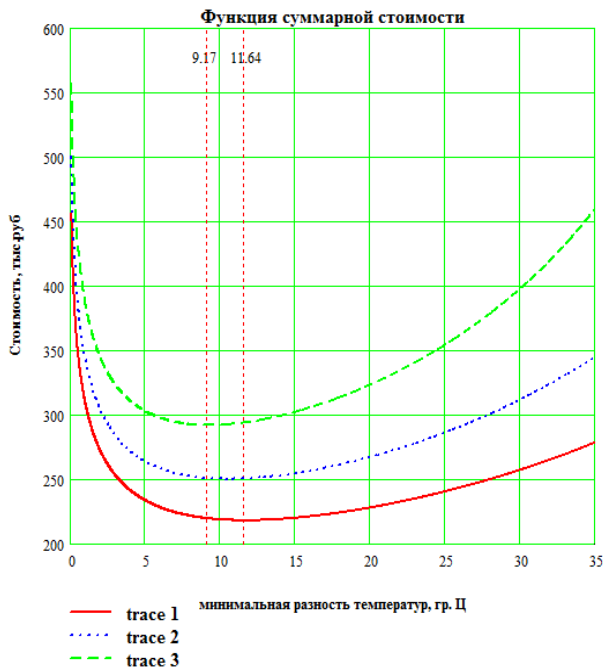
Рисунок 7. Функция двухцелевой оптимизации по Парето минимальной разности температур в испарителе

В тоже время, надо заметить, что при выходе за пределы указанного диапазона значения функций начинают достаточно сильно изменяться, отклоняясь от минимума.

Оптимизация минимальной разности температур в конденсаторе при заданной температуре наружного воздуха.

Результаты исследований целевой функции - функции суммарной стоимости кондиционера от величины минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе, руб., представлены на графике 8. Кривые на графике соответствуют разным температурам наружного воздуха (30°C, 40°C, 50°C).

Результаты исследований целевой функции - функции суммарных эксплуатационных издержек кондиционера от величины минимальной разности температур теплоносителей в теплообменнике, руб., показаны на рис. 9.



trace1 - температура наружного воздуха 30°C
trace2 - температура наружного воздуха 40°C
trace3 - температура наружного воздуха 50°C

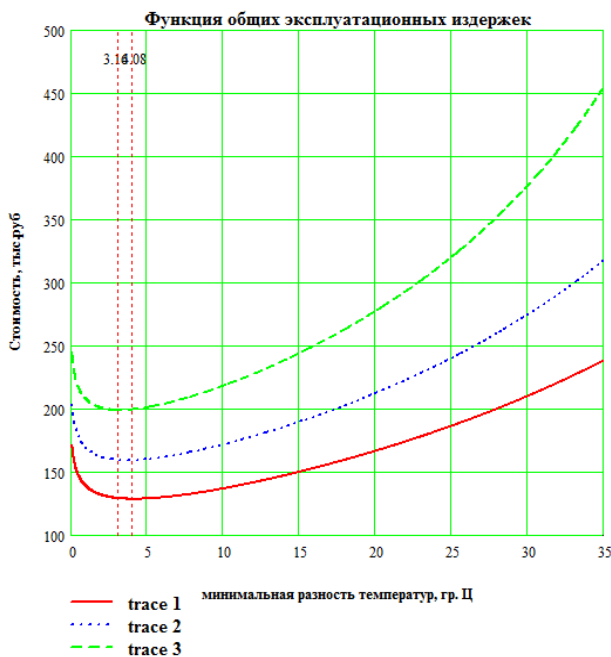
Рисунок 8. Функции общей стоимости от минимальной разности температур в конденсаторе

Также на рис. 10 представлены результаты исследования целевой функции, составленной по Парето компромиссу.

Конкурирующие тенденции часто проявляются при анализе влияния главных определяющих факторов.

Характер изменения функций при изменении минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе также связан с имеющимися конкурирующими тенденциями.

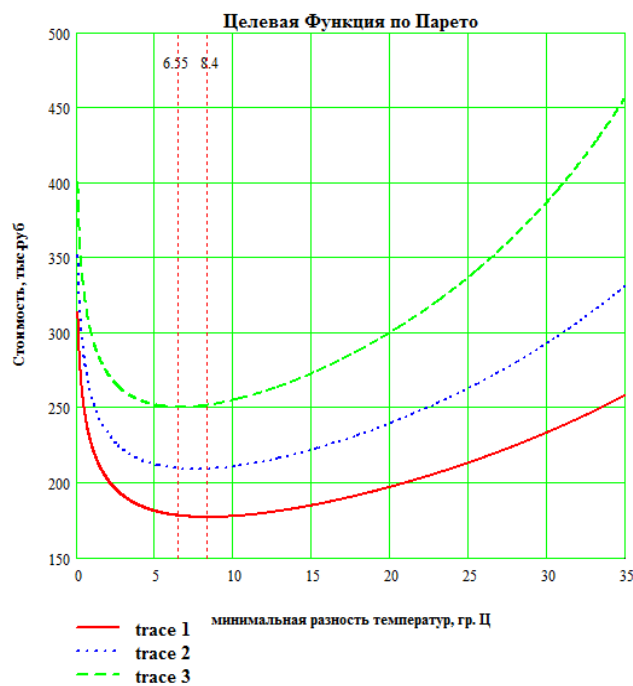
С одной стороны, уменьшение минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе приводит к увеличению площади теплообменной поверхности, но - к снижению мощности и потреблению энергии компрессора и вентилятора конденсатора. С другой стороны, увеличение минимальной разности температур теплоносителей в конденсаторе приводит к уменьшению поверхности теплообмена, но - к возрастанию мощности и потребления энергии компрессора и вентилятора конденсатора.



trace1 - температура наружного воздуха 30°C
trace2 - температура наружного воздуха 40°C
trace3 - температура наружного воздуха 50°C

Рисунок 9. Функции общих эксплуатационных издержек от минимальной разности температур в конденсаторе

Можно также отметить существование ярко выраженных минимумов целевых функций в области оптимальных значений минимальных разностей температур теплоносителей в конденсаторе кондиционера. “Дно” функций имеет меньший радиус кривизны, что определяет более узкий диапазон оптимальных значений 3...11°C, отвечающих минимальным капитальным вложениям и эксплуатационным издержкам. За пределами этого диапазона функции меняются более резко, чем в области оптимальных значений минимальных разностей температур теплоносителей в испарителе, что было установлено выше, т.е. значительно возрастают капитальные затраты и эксплуатационные издержки. Все это, в итоге приводит к росту потребления материально-энергетических ресурсов на стадии производства и в процессе эксплуатации. Можно рекомендовать этот диапазон значений минимальной разностей температур теплоносителей в конденсаторе для выбора при проектировании.



trace1 - температура наружного воздуха 30°С
trace2 - температура наружного воздуха 40°С
trace3 - температура наружного воздуха 50°С

Рисунок 10. Функция двухцелевой оптимизации по Парето минимальной разности температур в конденсаторе

Опираясь на представленные результаты исследований, можно подвести некоторый общий итог.

Поведение технико-экономических характеристик систем кондиционирования в областях, окружающих области оптимальных решений показывают значительные отклонения в сторону увеличения от минимальных значений. Это касается как капитальных вложений, так и эксплуатационных издержек.

Производство и эксплуатация кондиционеров с параметрами, сильно не соответствующими оптимальным значениям, приведет к росту себестоимости производства, увеличению капитальных вложений и эксплуатационных издержек потребителя.

Таким образом, выявлена необходимость проведения технико-экономической оптимизации технических параметров кондиционеров, во-первых, на стадии проектирования, т.к. это способствует решению задач снижения расхода материально-энергетических ресурсов, как на этапе изготовления, так и на этапе эксплуатации.

Во-вторых, подбор кондиционеров из комплектующих на фирмах, специализирующихся на поставках и установке систем, также необходимо вести, учитывая требования оптимизации.

Можно в заключение подчеркнуть, что применение оптимальных решений позволяет экономить материально-энергетические ресурсы, а эта задача имеет большое общественное значение, поскольку развитие человечества неизбежно сталкивается с ограниченностью доступных человеку ресурсов на земле и экологическими проблемами, возникающими при их добыче и переработке. Эта проблема заставит человечество пересмотреть парадигму современного “общества потребления”, которая втягивает в круговорот производства предметов потребления все возрастающее количество ресурсов, превращая их, в конечном счете, в горы отходов. Управление “качеством” продуктов потребления стало, к сожалению, инструментом корпораций в этом направлении, поскольку их целью стало не само качество, а

одна лишь прибыль. Что хорошо корпорациям не всегда хорошо человечеству. Повышение качества продуктов производства, при одновременном снижении количества потребляемых при этом ресурсов - вот путь, по которому надо идти, потому что только это отвечает общественным, а не частным интересам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснов, Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке / Ю.С. Краснов, А.П. Борисоглебская, А.В. Антипов. - М.: ТЕРМО-КУЛ, 2004. - 370 с. - ISBN 5-90-26-76-01-0.
2. Белова, Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е.М. Белова. - М.: ЕВРОКЛИМАТ, 2006. - 639 с. - ISBN 5-94447-009-7.
3. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. - М.: Стройиздат, 1971. - 269 с.
4. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. М.: Машиностроение, 1978. - 264 с.
5. Четвертаков Г.В., Сумзина Л.В., Максимов А.В., Литвиненко А.А. Анализ оборудования по комплексному показателю энергоэффективности. Интернет-журнал Наукоедение. 2015. т. 7. № 1 (26). с. 97.
6. Сумзина Л.В., Максимов А.В., Литвиненко А.А., Кудров Ю.В. Тенденции развития отрасли энергосберегающих технологий. Интернет-журнал Наукоедение. 2015. т. 7. № 1 (26). с. 98.
7. Сумзина Л.В., Максимов А.В. Анализ потерь эксергии в цикле компрессионного бытового холодильника. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. № 1. С. 37-39.
8. Лебедев В.В., Губанов Н.Н., Шагунов Д.В. Актуальные вопросы оценки энергетической эффективности: от экономики до технологического процесса. Интернет-журнал Наукоедение. 2015. Т. 7. № 1 (26). С. 105.
9. Лебедев В.В., Крымская Е.Я., Анидалов А.Ю. Анализ критериев технологической и технико-экономической эффективности проектных решений. Сервис в России и за рубежом. 2014. № 4 (51). С. 102-116.
10. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. - М.: Стройиздат, 1983. - 320 с., ил.
11. Теплофизические основы получения искусственного холода // Справочник из серии справочников «Холодильная техника» под ред. А.В. Быкова, А.А. Гоголина и др. М.: Изд-во: «Пищевая промышленность», 1980 - 231 с.
12. Максимов А.В., Кудров Ю.В., Равилов Ф.А., Бурцева Л.А. Особенности процесса дросселирования хладагента в капиллярных трубках. - Отходы и ресурсы. 2016. Т. 3. № 2. С. 1.
13. Электронный ресурс: Сайт издательского дома «Холодильное дело»: <http://holod-delo.ru/>.
14. Колпачков В.И., Ящура А.И. Производственная эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт энергетического оборудования. // Справочник. (Рецензент Толиков Н.С.). - М: Электронный ресурс: База нормативной документации: www.complexdoc.ru, 1999. - 811 с.
15. СНиП41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. - М.: Госстрой России; ГУП ЦПП, 2000. - 54 с.
16. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М: Радио и связь, 1981. - 560 с.

Lebedev Vladimir Vladimirovich

Russian state university of tourism and service, Russia, country settlement Cherkizovo
E-mail: voval_matr@mail.ru

Sumzina Larisa Vladimirovna

Russian state university of tourism and service, Russia, country settlement Cherkizovo
E-mail: byttech1@yandex.ru

Maksimov Alexander Vasilyevich

Russian state university of tourism and service, Russia, country settlement Cherkizovo
E-mail: maksimovav52@yandex.ru

Kudrov Yuri Vladimirovich

Russian state university of tourism and service, Russia, country settlement Cherkizovo
E-mail: yurakudrov@yandex.ru

Burtseva Lyudmila Alexandrovna

Russian state university of tourism and service, Russia, country settlement Cherkizovo
E-mail: lyudmilamaksimova@yandex.ru

Technical and economic optimization of parameters of conditioners

Abstract. In work value of necessity of the decision of problems of optimization at all stages of life cycle of systems is shown. Research is executed by methods of imitating modeling. In article are presented thermo physical and technical and economic making models of central air, are considered criteria of optimization, the analysis of criterion functions is given, key factors of optimization are considered. At research of difficult systems which central airs concern, optimization, as a rule, happens multifactorial and has multi-purpose character. Authors consider questions of multi-purpose optimization by criteria of a minimum of capital expenses and operational costs. Search of the optimum decision by multi-purpose optimization of system is made by a finding of a minimum of the dual-purpose vector generated by a method of linearly-weight compromises on Pareto from criterion functions of total capital expenses and the general operational costs. Problems are solved in the environment of Mathcad. Results of researches show that behavior of technical and economic characteristics of central airs in areas, near to area of optimum decisions show presence of a strongly pronounced absolute minimum. Tendencies to considerable growth of deviations at removal of technical parameters from area of optimum decisions thus take place. It concerns both capital investments, and operational costs. Manufacture and operation of conditioners with the parameters which strongly are not corresponding to optimum values, will lead to expense growth financially-power resources. Research allows to establish borders of area of optimum values of key factors which it is possible to recommend as preferable parameters at designing of central airs.

Keywords: air-conditioning; system components: the evaporator, the condenser, the compressor, the fan; the refrigerator; a refrigerating cycle; technical and economic optimization; the optimization purposes; criterion functions; criteria of optimization; parameters and factors; multi-purpose vectors on Pareto; areas of optimum decisions