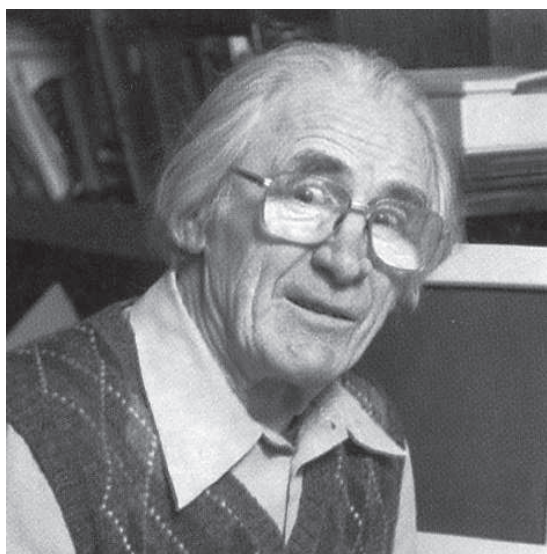


УДК 628.88;658.512

ВСПОМИНАЯ ПРОФ. А. А. РЫМКЕВИЧА: НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ — ЧЕТЫРНАДЦАТЬ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

А. Г. Сотников, д-р техн. наук, профессор кафедры кондиционирования воздуха Холодильного института, ученик, коллега



А. А. Рымкевич (1921–2012)

Сначала несколько высказываний мудрых об относительности знаний и особенностях восприятия человеком нового:

Заговори, чтобы я тебя увидел (Сократ).

Судьба каждой истины сначала быть осмеянной, а потом уже признанной (А. Швейцер).

Любые предложения люди понимают иначе, чем тот, кто их вносит (третий закон Чизхолма).

Неважно, что вам говорят, — вам говорят не всю правду (принцип Тодда).

От автора: для себя твердо решил: время этой статьи уйдет, надо писать, что помню, вокруг все заняты или ушли...

Адольф Адамович остается в памяти коллег, учеников, инженеров, аспирантов и студентов. Его долгая творческая, инженерная и научная жизнь¹ была разделена почти поровну между двумя альма-матер — училищем и ЛТИХП. В 1956–

1975 гг. он работал в ВВИТКУ, где был сначала нач. лаборатории (об объеме его работы говорят около 300 отчетов), а потом нач. кафедры вентиляции и кондиционирования. В 1975–1998 гг. он работал в ЛТИХП. Автору этих строк доподлинно неизвестна первая половина его трудовой деятельности из-за закрытости тематики военного училища. Но известно, что А. А. Рымкевич подготовил десяток кандидатов наук, среди которых Н. И. Куленов², В. Е. Минин, Г. Е. Уткин, В. М. Черепанов, М. А. Барский, В. В. Жадович, Н. С. Зерцалов, В. И. Романкин, В. А. Бросалин и др. О его большой загрузке свидетельствует такой факт. В мае 1968 г. я никак не мог встретиться с доцентом А. А. Рымкевичем, оппонентом кандидатской, это живя-то в одном городе на расстоянии двух остановок метро. Мы не нашли ничего проще, как встретиться, но где бы вы думали?.. В Тбилиси, где в конце мая проходило Всесоюзное совещание по вентиляции и КВ. Прием моего оппонента поначалу был довольно жестким, но, постепенно разобравшись, он понял идею работы, согласился с ней и заметно смягчился.

Через семь лет после того разговора я встретил А. А. Рымкевича уже как коллегу и профессора кафедры КВ Ленинградского холодильного института, не заведующего, но научного лидера. Его необычные научные идеи, кратко описанные ниже, всем нам, преподавателям, аспирантам и студентам, поначалу долго были непонятны. Давил груз традиций и устоявшихся подходов; заметно проще с чистого листа учить новому студентов. Например, удивляли незнакомые термины и построения в $i-d$ -диаграмме, уходившие ниже линии насыщения, как в антимир. Конечно, со временем привыкли к этой условности и сами учили других. Студенты, хотя далеко не все, понимали и в этом деле обгоняли даже нас. Это по теории, но практика в 1980-х гг. заметно отставала из-за отсутствия отечественных средств управления по оптимальным режимам А. А. Рымкевича...

¹ Более подробно о жизни и деятельности А. А. Рымкевича можно прочесть в журнале «Инженерные системы» НП АВОК — Северо-Запад, 2001, № 1 и 2011, № 1 и в очерке «История кафедры кондиционирования воздуха ЛТИХП (1947–2010)» на сайте: www.proptimum.ru

² Здесь и далее для краткости изложения ученые степени, звания и должности упомянутых преподавателей и научных работников не указаны.

Как бы там ни было, постепенно появились ученики, аспиранты, а потом кандидаты наук на кафедре: В. И. Лысев, С. И. Бурцев, Л. Я. Баландина, А. И. Ваньшин, Т. А. Верховая, З. Ш. Эльяшов, А. М. Гримитлин, И. О. Кокорин, А. М. Живов и др. Но этим дело далеко не ограничилось. А. А. Рымкевич стал признанным организатором научной школы термодинамической оптимизации СКВ, его разработки использованы в справочнике ASRAE (США), книгах коллег и учеников.

Системный подход к обучению специальности А. А. Рымкевич совместно с деканом факультета и зав. кафедрой О. П. Ивановым применил, выстроив и связав дисциплины в последовательности изучения: «объект проектирования — отопление — теоретические основы КВ — проектирование СКВ — энергосбережение — автоматизация СКВ». В помощь обучению он создал сценарий НПФ «Кондиционирование воздуха (введение в специальность)», снятого в 1977 г. Леннаучфильмом, который долго оставался единственным фильмом на эту тему...

Большую помощь: руководство, консультации, оппонирование — А. А. Рымкевич оказал в подготовке докторских диссертаций. Например, в начале 1990-х гг. он помог мне подвести к общему знаменателю разнородные, часто напрямую не очень связанные, исследования, монографии и статьи, дав этой работе название: «Комплексное научно-методологическое обоснование ...». И в этом случае использованный им системный подход позволил получить наилучшее название диссертации...

В 1980-х гг. А. А. Рымкевич стал инициатором и научным генератором всесоюзной коллективной работы по оптимизации систем обеспечения микроклимата. В ней принимали участие крупнейшие кафедры вузов, НИИ, ГГО им. А. И. Воейкова и проектные организации под общим руководством головного института — ЦНИИПромзданий. Эта работа была применена в проекте нового завода робототехники, но начавшаяся перестройка ее остановила. А. А. Рымкевич сотрудничал с ведущими специалистами и учеными Ленинграда Е. В. Стефановым, П. В. Участкиным, В. К. Аверьяновым, М. И. Гримитлиным, Н. В. Кобышевой; москвичами: В. Н. Богословским, В. П. Титовым, В. И. Прохоровым, Е. Е. Карписом, Б. В. Баркаловым, О. Я. Кокориным, Л. М. Зусмановичем, С. В. Нефеловым, Р. Д. Октябрьским, Л. И. Неймарк, Ю. А. Табунщиковым, Т. И. Садовской, Е. О. Шилькромом; харьковчанами: Г. С. Куликовым, И. Р. Щекиным, Б. И. Бялым, И. И. Зингерманом; рижанином А. Я. Креслинем и многими другими. Понимание его идей было

не всегда, но необычность — это свойство любой научной идеи... Вспомним высказывание Н. Бора по поводу одной из физических теорий: «...несомненно, перед нами явно сумасшедшая идея, но достаточно ли она сумасшедшая, чтобы быть гениальной?»

Научное наследие профессора А. А. Рымкевича — это новые, более верные, но в чем-то непривычные и поэтому не всем и не всегда понятные подходы к, казалось бы, известному, традиционному и незыблемому, простые, но аналитически строгие способы системного анализа и описания систем и процессов в них, отраженные в двух известных монографиях: «Управление СКВ» (совместно с М. Б. Халамейзером, 1977) и «Системный анализ оптимизации ...» (1990, 2003), многочисленных статьях, и, конечно, *память об умном, скромном, мягком и интеллигентном человеке*. По рассказам родных, А. А. Рымкевич работал и в 90 лет, хотя и медленно, но до последнего дня. Его незаконченная статья посвящена проблемам оптимизации СКВ, информацию о ней можно получить у докторанта Н. В. Коченкова (kochenkov63@mail.ru). Моя задача — кратко познакомить инженеров, особенно молодых и начинающих, с основными идеями и подходами профессора А. А. Рымкевича к проблемным вопросам специальности, вот они...

Системное представление о специальности — основа эффективной работы инженера

Системы обеспечения микроклимата (СКВ, СВ, СО) были и остаются наиболее сложными, громоздкими, металло- и энергоемкими, дорогими системами современных зданий как по функциональному назначению (поддержанию во многих точках разных физических параметров: термодинамических, аэродинамических, гидравлических, акустических, химических, аэрозольных, озono-ионных, микробиологических и др.), так и по использованию многих смежных систем (тепло-, холодо-, водо- и электроснабжения), сред и видов энергии (наружного воздуха, горячей, холодной и водопроводной воды, пара, водных растворов антифризов, хладонов, электроэнергии на привод нагнетателей — вентиляторов, насосов, компрессоров), нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (Солнца, ветра, приливов, рек, грунта и др.), а также средств автоматического управления.

Как следствие малой плотности и вязкости воздуха — исходной обрабатываемой и перемещаемой среды — СКВ и СВ занимают значитель-

ные площади и объемы, требуют больших капиталовложений, а при работе потребляют большое количество теплоты, холода, электроэнергии и воды. Кроме того, по мнению А. А. Рымкевича, современная СКВ является «...наиболее сложной системой в структуре систем микроклимата, во-первых, потому, что в ней существует большое количество подсистем (десять и более), которые являются взаимосвязанными и взаимозависимыми в процессе их функционирования, во-вторых, потому, что число факторов, влияющих на режимы и технологические процессы, с учетом возможных сочетаний достигает десятков сотен». Поэтому создание сравнительно недорогих, экономичных и адекватных, т. е. максимально соответствующих объекту, а также энерго- и материалоэкономичных систем (СКВ, СВ, их СХС) является первостепенной и весьма сложной задачей.

Общее представление о системе кондиционирования и основных системообразующих понятиях, таких как «задание на проектирование», «исходные данные», «расчетная информация», «система кондиционирования», «подсистемы системы кондиционирования», в их взаимосвязи можно наглядно получить из условного фронтона специальности (рис. 1). Из этого рисунка очевидна решающая роль вышеперечисленных понятий, лежащих в основе «здания» специальности.

Общий подход к классификации СКВ

Эта проблема давно интересует многих отечественных и зарубежных исследователей и уче-

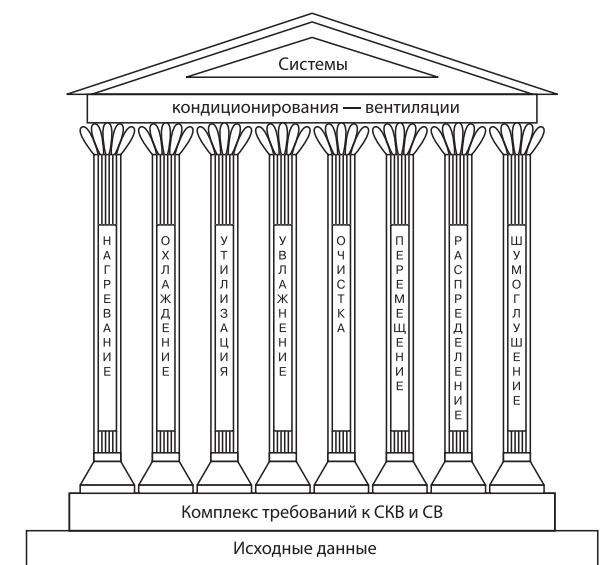


Рис. 1. Условный фронтон специальности «кондиционирования воздуха и вентиляция» с указанием основных системообразующих понятий и их роли в воображаемом «здании» профессии

ных. Вот что об этом пишет А. А. Рымкевич в своем оригинальном подходе к проблеме: «Анализ иерархической структуры самих СКВ прежде всего требует их классификации и только затем декомпозиции на подсистемы. Результатом любой классификации обычно является перечень каких-либо технических решений, позволяющих найти каждому из них свою область применения. Однако для СКВ, решения которых базируются на учете большого числа данных, разработать такую классификацию всегда сложно. Не случайно в литературе нет единого мнения по данному вопросу, и поэтому многие известные авторы, такие как Б. В. Баркалов и Е. Е. Карпис, А. А. Гоголин, А. В. Нестеренко, Е. В. Стефанов, П. В. Участкин, В. Н. Тетеревников, В. Н. Языков и другие, предложили различные методы классификации.

Отдать предпочтение какой-либо из существующих классификаций затруднительно, так как каждая из них по-своему отражает многообразие решений, опыт проектирования и исследований, а подчас и интуитивное ожидание результатов от использования излагаемого принципа поддержания заданных параметров воздушной среды. Принципы классификации систем, очевидно, в значительной степени зависят от тех целей, которые преследуют в процессе исследований. В данном случае представляется, что в основу классификации систем принимаются такие принципиальные решения, которые вытекают из выявленных ранее режимов и условий функционирования...»

Действительно, взвешенное мнение, примиряющее многочисленные споры на эту тему, весьма важно. Возможности современной техники непрерывно растут, и это привносит постоянные добавления в классификацию систем, их дробление на местные, пофасадные, поэтажные, центральные и другие подсистемы и элементы.

Виды систем компенсации возмущений

А. А. Рымкевич предложил структуру систем поддержания нормируемых параметров: «В зависимости от функциональных особенностей обслуживаемого объема помещения в нем возникают соответствующие возмущения параметров воздушной среды, которые необходимо компенсировать рациональными средствами до уровня их нормативных значений. Исходя из этого разработана схема взаимосвязи возмущающих факторов и систем, их компенсирующих (системы компенсации)» (рис. 2).

Для удобства классификации оптимизационных задач и их решения все системы компенсации целесообразно представить двумя группами:

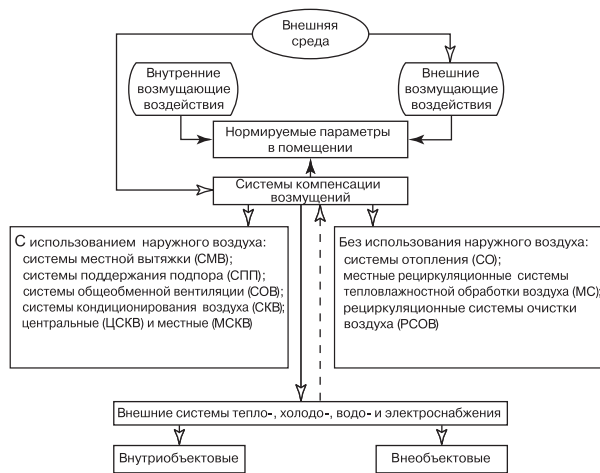


Рис. 2. Иерархическая структура систем компенсации возмущений параметров воздушной среды в помещении (объекте) по А. А. Рымкевичу

- системы, требующие наружного воздуха;
- системы, работающие без использования наружного воздуха, — рециркуляционные.

Системное обоснование сложности СКВ как объекта исследования и проектирования

Многие задачи и подходы к СКВ часто грешат упрощениями, вулгаризмами, системно никак и ничем не обоснованными. Даже в названии отдельных элементов (аппаратов) систем и их комбинаций имеются путаницы или неточности. Например, воздухонагревателем называют отдельный аппарат, хотя он вместе с насосом, клапанами, обвязкой представляет отдельно работающую подсистему. Такое же замечание относится и к другим элементам системы. Современная СКВ может быть ограничена контрольной поверхностью (рис. 3), внутри которой находится объект — здание или помещение, в котором находятся люди и протекает технологический процесс. В состав СКВ входят подсистемы (нагрева, охлаждения–осушения, увлажнения, перемещения, очистки и др.), а снаружи — смежные системы, совместно работающие с СКВ. Они частично выполняют те же функции (отопление, вентиляция, доувлажнение) или обеспечивают работу СКВ (тепло-, холодо-, энерго- и водоснабжения, водоотведения, управления).

Существенными внешними связями СКВ с другими системами или подсистемами с другими подсистемами либо системой в целом будем считать такие, которые при их неучете приводят к погрешности определения конечного результата, превышающей допустимую (для данной задачи). Аналогично внешние связи можно полагать несущественными, если их неучет приводит к опре-

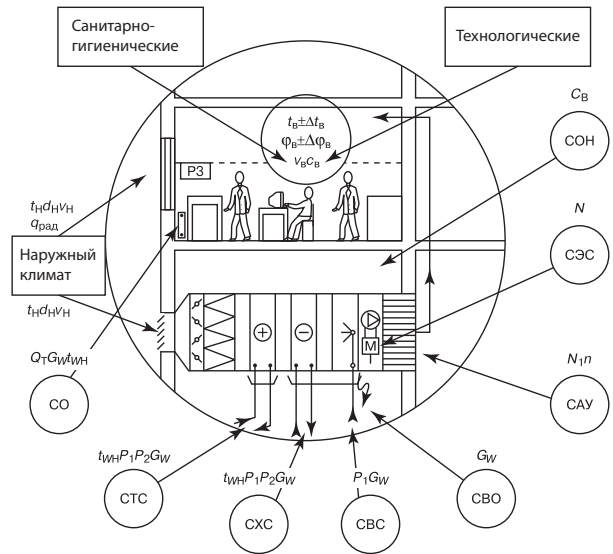


Рис. 3. Представление о системе кондиционирования воздуха, ее контрольной поверхности и смежных для СКВ системах:

СО — система отопления; СХС — система холодоснабжения; СТС — система теплоснабжения; СЭС — система энергоснабжения; СВС — система водоснабжения; СВО — система водоотведения; САУ — система автоматического управления

делению конечного результата с погрешностью меньше допустимой.

Комплекс исходных данных и расчетной информации — как объект исследований

Работу инженера любой специальности, а тем более нашей, связанной с различными областями техники и знаний, уместно сравнить с ответственной работой портного, шьющего хороший костюм. И тогда исходные данные аналогичны портновским меркам. Их должно быть достаточно для того, чтобы получился хороший костюм, соответствующий заказчику. Нельзя думать, что инженер не знает об этом. Представление о комплексе исходных данных ему изначально понятно, но, кроме нескольких «дежурных» цифр, остальное весьма расплывчато и неконкретно, без особой связи с последующими техническими решениями.

Представления о структуре исходных данных и расчетной информации для обоснованного проектирования СКВ и СВ, предложенной А. А. Рымкевичем, можно получить из рис. 4. Здесь выделены характерные группы разнохарактерной информации как общей для площадки строительства (например, климатологическая, экономическая), так и специфичной для данного здания и помещения (технологическая, архитектурно-строительная, гигиеническая, о смежных системах и пр.). Последняя может быть получена от технологов, строителей, электриков, специали-

Исходные данные						
Характеристика площадки объекта	Архитектурно-строительная характеристика здания	Технологическая характеристика здания и помещения	Санитарно-гигиенические условия в помещении	Климатологическая характеристика площадки	Экономическая и другая информация	Ограничения
Расчетная информация						
Составляющие тепловой и влажностной нагрузок			Расчет вредных выделений, минимальный расход наружного воздуха	Расход приточного воздуха, параметры на входе в систему и помещение		
Внешние	Внутренние					
Проектирование и расчет СКВ						
Выбор принципиальных решений и технологических схем СКВ	Сравнение вариантов СКВ	Выбор и расчет оборудования СКВ	Управление СКВ	Задание смежным отделам	Определение технико-экономических показателей	

Рис. 4. Структура исходных данных и расчетной информации для проектирования и оптимизации СКВ и СВ

стов по водо-, тепло-, холодо- и электроснабжению и др.

Каждая группа таких данных в форме задания на проектирование включает различные сведения об объекте и требования к нему, используемые в последующих расчетах (эта часть переработанных исходных данных, по предложению А. А. Рымкевича, названа расчетной информацией). Как замечает А. А. Рымкевич, «понятие информация в рассматриваемом смысле близко к понятию данные. Вместе с тем они различны, поскольку принимается, что информация — это такие сведения об исходных данных, которые отображают количественные значения определяющих факторов и обеспечивают решение поставленной задачи с выявлением зоны неопределенности оптимальных решений».

Например, к исходным данным для помещения относят число людей, площадь окон и их ориентацию, меры солнцезащиты, мощность освещения и оргтехники и т. п. На основе этих и подобных данных определяют расчетную информацию — тепло-, влажно-, паро- и газовыделения в помещении в разных условиях. При проектировании или реконструкции объекта исходные данные собирают на существующем (действующем) объекте или его аналоге на основе тепло-, влажно-, паро- и газовоздушных балансов. Представление о многообразии и сложности нагрузок помещений можно получить на основе их классификации (рис. 5). В частности, нагрузки объекта и их составляющие рассматривают по физическим законам изменения (постоянные, периодические, экспоненциальные и т. д.), стохастическим законам распределения, долям в общей сумме (доминантные, малозначимые), равномерности в плане помещения и другим признакам. Они являются объектом дальнейшего изучения.

Исходные данные для проектирования часто далеко недостаточны, особенно в части техноло-

гических нагрузок и климатологической информации, что важно как для проектирования и эксплуатации, так и для достоверного расчета годовых расходов теплоты, холода и влаги конкретной СКВ и СВ в произвольном пункте страны. В этих условиях проектирование, по сути, является *эвристическим*, т. е. выполняемым при отсутствии или существенном недостатке исходных данных и расчетной информации за годовой цикл работы системы, которую надо постепенно восполнить.

Благодаря усилиям профессора А. А. Рымкевича было ликвидировано известное отставание климатологической информации, необходимой для расчета годовых расходов теплоты, холода и влаги в любом пункте России на основе исследований ГГО им. А. И. Воейкова (Н. В. Кобышева, В. Э. Ницис и др.).

Критика проектирования на двочки — пример реализации системного анализа

До настоящего времени пока, как и прежде, решения, в том числе по управлению, принимают на основе построений на две точки (рис. 6), в расчетных условиях определяют расходы воздуха, теплоты и холода. Однако без учета всего комплекса параметров наружного воздуха, уровней нагрузок в помещении и режимов работы системы нельзя представить все режимы работы такой СКВ (рис. 6). А. А. Рымкевич охарактеризовал такое положение «как промах», связанный с тем, что «...СКВ рассчитывают по двум-трем состояниям наружного воздуха, без учета функционирования системы в течение года ее эксплуатации».

Различие СКВ и СВ системно объяснимо

Иногда специалисты обсуждают этот вопрос, обращая внимание на формулировки и разные признаки, в том числе несущественные.

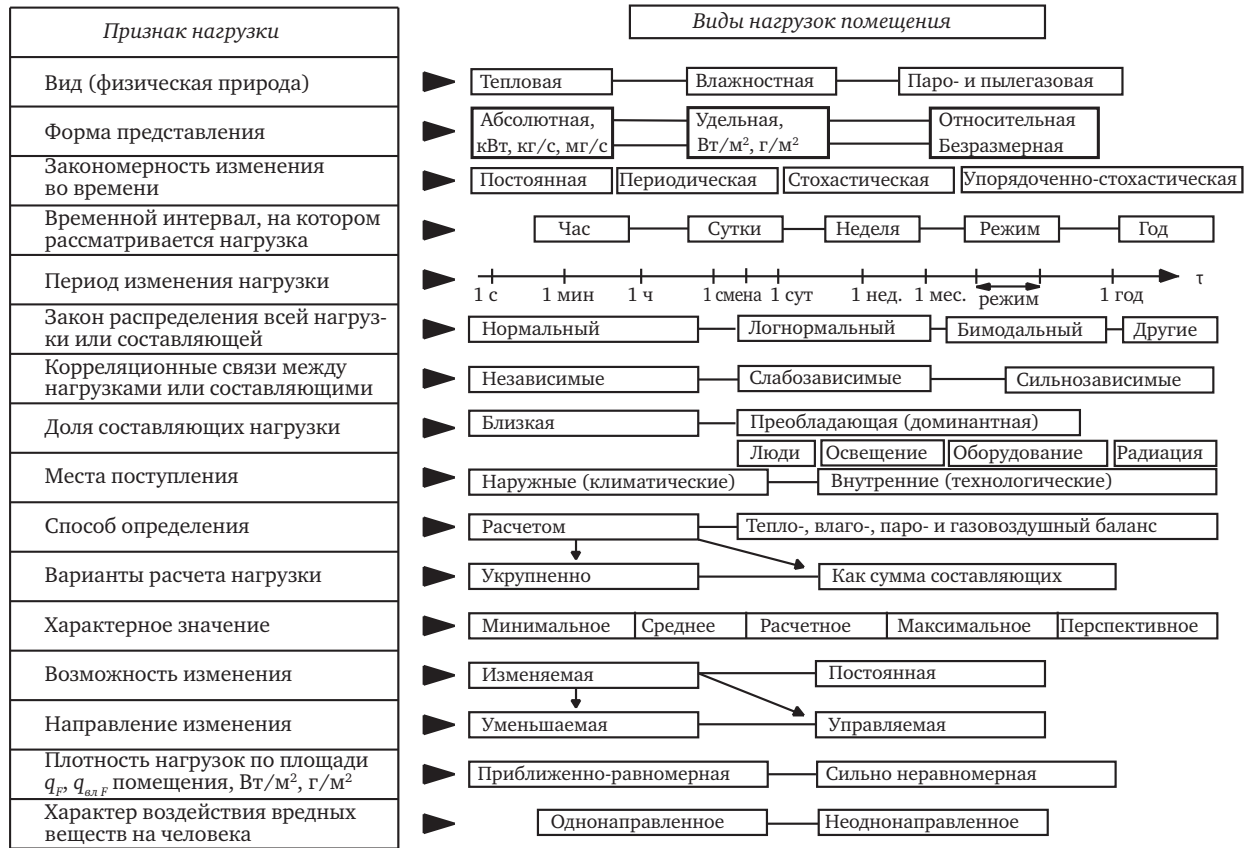


Рис. 5. Классификационная схема нагрузок вентилируемых и кондиционируемых помещений по основным признакам, существенным для проектирования и автоматизации современных СКВ и СВ

Дискуссия на эту тему проникла и в официальные издания. В Большой Советской Энциклопедии СКВ представлена как разновидность вентиляционной техники (И. Ф. Ливчак, БСЭ, т. IV) и в то же время как самостоятельная область техники

(Е. Е. Карпис, БСЭ, т. XIII). Истину в этом случае можно найти только при системном анализе.

По мнению А. А. Рымкевича, различие нужно объяснять в первую очередь в своеобразных исходных данных и ограничениях (оптимальных и

Таблица 1

Управляющие воздействия по оптимальным режимам работ СКВ согласно расчетной схеме ТДМ на рис. 9,

Зона	Параметр (·) В	Режим использования аппаратов, воздушных и водяных регулирующих клапанов						
		$Q_{г1}$	$Q_{г2}$	Q_x	$G_{вл}$	$G_{н min}$	$G_{н var}$	$G_{н max}$
1	$t_{в1}, \varphi_{в1}$	+			+	+		
2	$t_{в1}, \varphi_{в1}-\varphi_{в4}$	+				+		
3	$t_{в4}-t_{в3}, \varphi_{в4}$	+				+		
4	$t_{в3}, \varphi_{в3}$	+					+	
5	$t_{в1}-t_{в2}, \varphi_{в1}$				+	+		
6	$t_{в2}, \varphi_{в2}-\varphi_{в1}$				+	+		
7	$t_{в1}-t_{в2}, \varphi_{в1}-\varphi_{в3}$					+		
8	$t_{в3}, \varphi_{в3}$				+		+	
9	$t_{в3}, \varphi_{в3}$			+				+
10	$t_{в3}, \varphi_{в3}$			+		+		
11	$t_{в3}, \varphi_{в3}$			+				+
12	$t_{в3}, \varphi_{в3}$		+	+				+

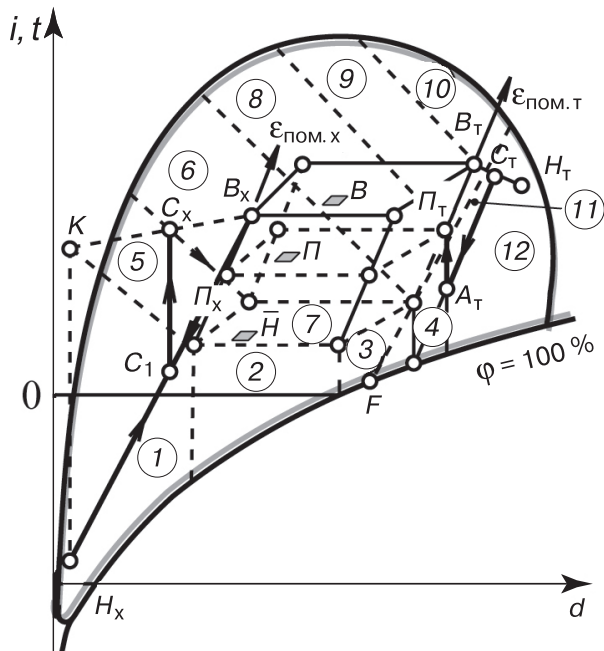


Рис. 6. Наложение в поле i - d -диаграммы построений процессов обработки при проектировании на две точки (жирные линии) и на основе представлений о термодинамической модели СКВ с рециркуляцией по зонам:

1 — с неизбежным нагреванием и увлажнением воздуха; 2–4 — с неизбежным нагреванием воздуха; 5, 6, 8 — с неизбежным увлажнением воздуха; 7 — без тепловлажностной обработки воздуха; 9–11 — с неизбежным охлаждением или охлаждением-осушением воздуха; 12 — с неизбежным охлаждением-осушением и последующим нагреванием воздуха

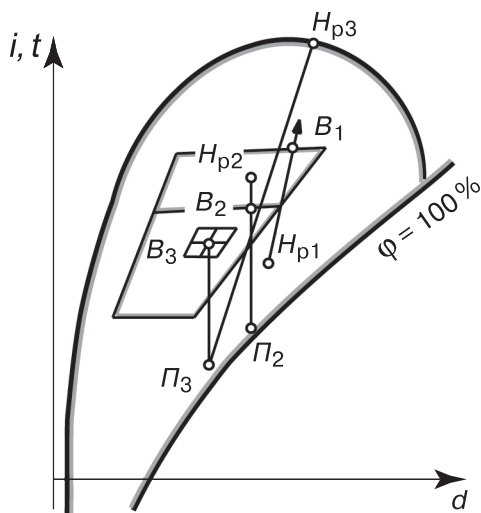


Рис. 7. Взаимное положение в i - d -диаграмме влажного воздуха расчетных состояний наружного (H) и внутреннего (B) воздуха в системах вентиляции 1, комфортного кондиционирования воздуха 2 и технологического кондиционирования воздуха при повышенных требованиях к точности поддержания параметров в производственном помещении 3 как объяснение различия СКВ и СВ и их технологических схем

допустимых параметрах воздушной среды в помещении и соответственно разных наружных расчетных параметрах А и Б в теплый период года), при всем этом его нужно полагать несущественным в главном. Как следствие различных наружных и внутренних расчетных параметров в теплое время года (рис. 7) в СВ и СКВ требуются неодинаковые технология обработки воздуха, разные расчетные расходы воздуха и холода в этих системах.

Классы тепловлажностных нагрузок — системообразующее понятие

В соответствии с разработками А. А. Рымкевича это — способ обобщения исходной информации об объекте, а именно состояний воздуха в помещении $\triangle B$, тепловлаговывделений (Q , $G_{\text{вл}}$), расходов приточного и наружного воздуха ($G_{\text{пр}}$, $G_{\text{н min}}$). По их сочетанию в диаграмме i - d (рис. 8) определяют положение области состояний: $\triangle U(P)$ — рециркуляционного воздуха; $\triangle П$ — приточного воздуха; $\triangle \bar{H}$ — условного состояния приточного воздуха при подаче его в количестве $G_{\text{н min}}$.

Наряду с этим для объектов, где нужно по технологическим требованиям и процессам, связанным с сорбцией материалами влаги, а также в испытательных камерах, где имитируют природные туманы, облака и влажность тропического климата, предложен О. П. Бульчевой пятый класс тепловлажностных нагрузок (рис. 8, е). Его особенностью является то, что $\triangle П$ и $\triangle B$ расположены на линии насыщения влажного воздуха и ниже ее.

Далее цитируем А. А. Рымкевича: «...под классами тепловлажностных нагрузок понимаем такие сочетания тепло- и влагоизбытков с расходами наружного воздуха, которые, в конечном счете, приводят к одинаковым требованиям к технологическим схемам СКВ и АСР». По положению точек U , $П$ и \bar{H} или соответствующих многоугольников $\triangle U(P)$, $\triangle П$ и $\triangle \bar{H}$ нагрузки разделены на четыре класса в зависимости от положения точек или многоугольников выше или ниже линии насыщения $\phi = 100\%$ (рис. 8, а–д).

Термодинамическая модель системы кондиционирования воздуха (ТДМ СКВ)

ТДМ СКВ — совокупность расчетной схемы, уравнений, базовых графиков и диаграмм потребления (годовых расходов) для данной системы. Продолжая известные исследования А. Я. Креслина на эту тему, модель А. А. Рымкевича дает наглядное графическое представление с помощью построений в i - d -диаграмме о всех режимах работы системы при заданных исходных условиях, расходах теплоты, холода, воздуха и воды системой за годовой цикл работы. Представление о разных ТДМ СКВ, их расчетных схемах для раз-

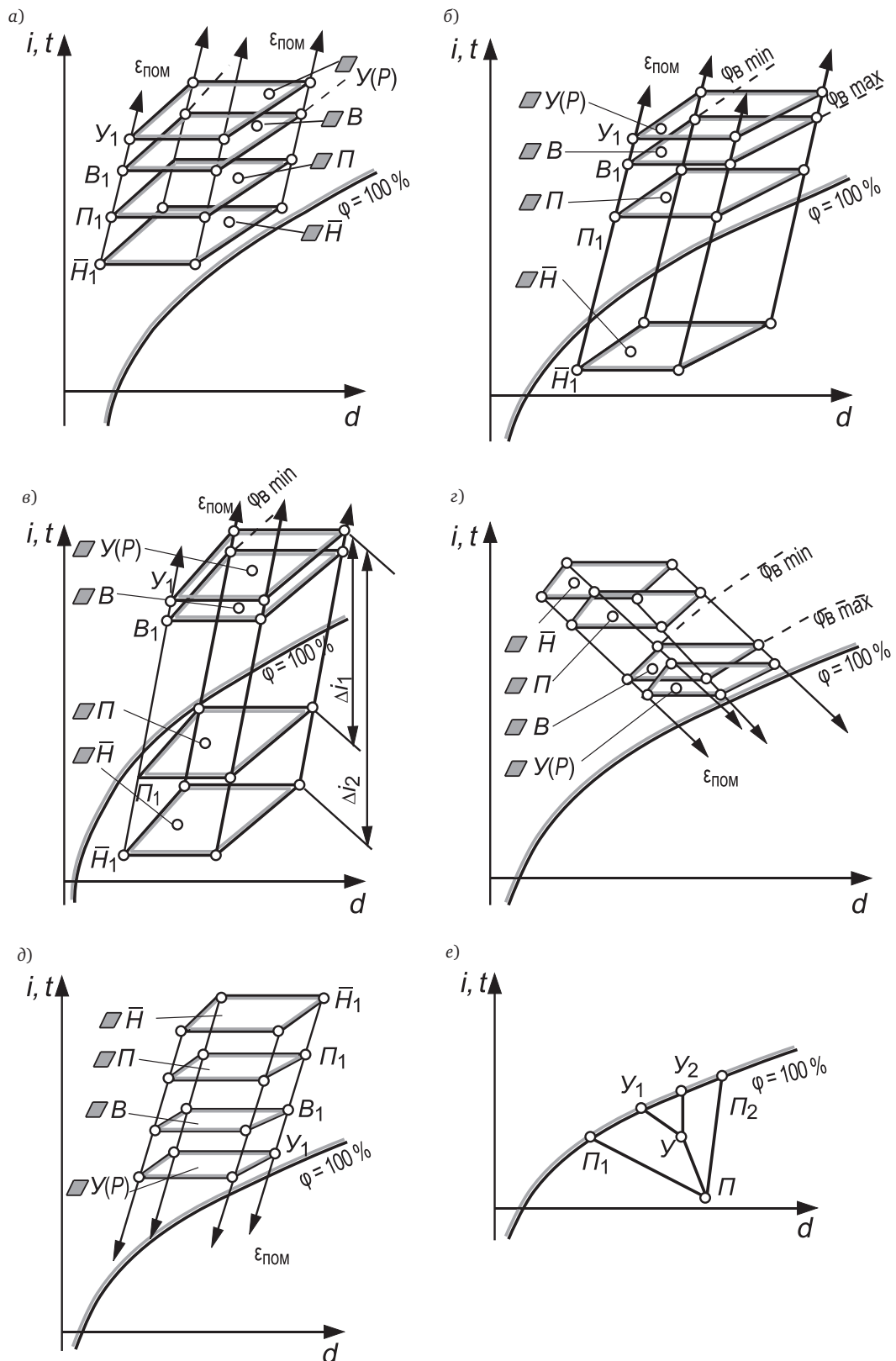


Рис. 8. Взаимное положение многоугольников состояния воздуха $Y(P), B, П$ и \bar{H} при разных лучах процесса в помещении $\epsilon_{\text{пом}}$ по отношению к линии насыщения и классы тепловлажностных нагрузок: а — первый; б — второй; в — третий; г, д, — четвертый [вариант д предложен в работе А. И. Тютюнникова, А. В. Матвеева-Березина / «Инженерные системы» // АВОК – С-З. 2008. № 1 (33). С. 24–28, 30, 31]; е — пятый (предложен в работе О. П. Булычевой «Водоснабжение и санитарная техника». 1980. № 7. С. 23–25)

ных вариантов задания параметров и разных нагрузках помещения можно получить из рис. 9.

Идеализованная термодинамическая модель СКВ применяется для системы без ограничений (выбранной идеализации), например, без учета нагрева приточного воздуха в вентиляторе, двигателе и воздуховодах, коэффициенте эффективности процесса в увлажнителе или охладителе-осушителе $E = 1$, одинаковых параметрах в рабочей зоне и на выходе из помещения, отсутствии ограничений со стороны системы управления и т. п.

Реальная термодинамическая модель системы кондиционирования воздуха (реальная ТДМ) — совокупность расчетной схемы, уравнений, базовых графиков, диаграмм потребления для системы с теми или иными ограничениями.

Расчетная схема термодинамической модели СКВ (РС ТДМ СКВ, рис. 10) — совокупность построений в $i-d$ -диаграмме влажного воздуха, отражающих множество и последовательность зон (режимов работы СКВ) при сочетаниях возможных состояний наружного воздуха и характерных уровнях нагрузок (тепловой, влажностной, газовой) помещения.

Перспективы практического внедрения метода оптимизации СКВ

Пожалуй, нет более спорного вопроса, обсуждаемого инженерами-проектировщиками СКВ, автоматчиками, исследователями систем и наладчиками. Здесь многое зависит от объема и глубины изначального понимания теории А. А. Рымкевича с учетом современных возможностей свободно программируемых контроллеров. Важно, что теперь не требуются дополнительные преобразователи первичных сигналов в универсальные 0–20, 4–20 мА или 0–10 В, как это было в прежние времена.

Автор статьи может поделиться своими представлениями о такой перспективе. Нельзя не согласиться с тем, что применение этого управления наиболее важно, когда технологическая схема СКВ сложна и велика ее производительность. Кроме того, имеют значение требования к параметрам воздушной среды, здесь два крайних случая. Первый — это повышенные требования к точности параметров (музеи, современные технологии) в сочетании с переменными тепло- и влаговыделениями в объекте. Второй — это большой годовой диапазон комфортных параметров ($t_{в} = 20 \div 26$ °С, $\phi_{в} = 30 \div 60$ %) в залах разного назначения, аренах и т. п. Пример применения такого алгоритма автор отмечает в проекте СКВ Стрельнинского дворца под Санкт-Петербургом. Однако практика эксплуатации этих систем нам

неизвестна из-за закрытости объекта. Не исключено, что подобной информацией обладают специализированные наладочные организации, с которыми, увы, нет контакта. Однако ничто не мешает использовать алгоритм оптимального функционирования СКВ, составить программу управления и выбрать основные измеряемые параметры, пользуясь книгой А. А. Рымкевича и М. Б. Халамейзера «Управление СКВ».

Алгоритм оптимального функционирования

Алгоритм функционирования системы (СКВ), разработанный А. А. Рымкевичем, — программа выполнения и последовательной смены технологических процессов, режимов обработки воздуха и его расходов в целях поддержания заданных параметров. Стратегия управления — диаграмма и (или) программное обеспечение, которое описывает функциональные требования. *Один из известных и практически применяемых алгоритмов может быть назван как жесткая последовательность управляющих воздействий* в случае, если конец одного режима однозначно является признаком начала следующего. Например, окончание режима нагревания воздуха означает начало режима работы СКВ с переменным расходом наружного воздуха. Пример последовательности управляющих воздействий в разных зонах — режимах работы СКВ (всего 12) — представлен в табл. 1 для случая, когда процессы увлажнения и охлаждения-осушения воздуха протекают в одном и том же аппарате — камере орошения, тогда как в настоящее время эти два процесса протекают в разных аппаратах.

Алгоритм оптимального функционирования системы (СКВ), предложенный и описанный А. А. Рымкевичем, позволяет решать эти задачи при минимизации функции цели: приведенных или энергетических затрат, при максимуме прибыли основного технологического процесса и др.

Терминология показателей СКВ

Показатели системы кондиционирования воздуха, по предложению А. А. Рымкевича, систематизирован в четырех группах:

- *функционально-технологические* (определяют степень обеспечения заданных параметров, необходимые расходы теплоты, холода, воздуха и воды);
- *конструктивно-компоновочные* (характеризуют габаритные размеры и массу, занимаемые строительные площади);
- *эксплуатационно-энергетические* (характеризуют расходы топлива, электроэнергии, надежность, удобство обслуживания);

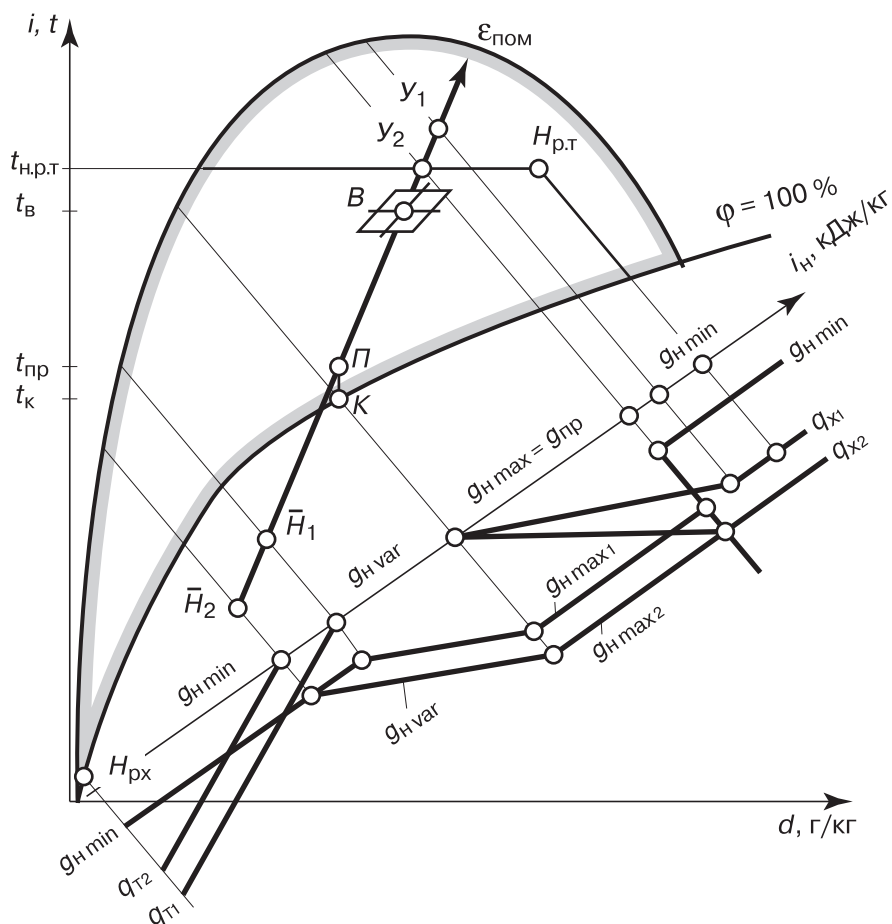


Рис. 10. Расчетная схема термодинамической модели СКВ в поле i - d -диаграммы влажного воздуха при круглогодичном поддержании температуры и влажности воздуха и базовые графики — зависимости мгновенных значений удельных расходов теплоты, холода и приточного воздуха от энтальпии наружного воздуха в течение года при разных коэффициентах воздухообмена ($k_{t1} > k_{t2}$; $t_{y1} > t_{y2}$; $i_{y1} > i_{y2}$) и других одинаковых исходных данных в СКВ с рециркуляцией (при $Q_{пом} = idem$ и $G_{н min} = idem$)

• *экономические* (капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты).

Удельные экономические показатели получают делением исходных показателей на площадь пола, объем помещения, единицу продукции, а иногда на расход перемещаемого воздуха.

Пример, объясняющий содержание и взаимосвязь технико-экономических показателей для системного анализа способов и средств воздухораспределения в помещении, по данным А. А. Рымкевича, показан на рис. 11.

Минимально-неизбежные показатели (расходы) СКВ

Минимально-неизбежные расходы СКВ есть значения, достижимые в идеализированной системе при отсутствии каких-либо ограничений. Они определяются по формулам, записанным че-

рез исходные данные, т. е. нагрузки помещения, наружные и внутренние параметры. При такой форме представления видны отдельные слагаемые расходов, могут быть оценены их доли в общей сумме, выполнен анализ изменения и путей их сокращения:

$$Q_T = G_{н min} (i_p - i_n) - Q_{пом} - G_{вл} i_{п}; \quad (1)$$

$$Q_X = Q_{пом} + G_{вл} i_{п} - G_n (i_p - i_n); \quad (2)$$

$$G_{увл} = G_{н min} (d_p - d_n) - G_{вл пом}; \quad (3)$$

$$G_{пр} = Q_{пом} / c_B (t_y - t_{пр}); \quad (4)$$

$$N_{эл} = G_{пр} P_{вент} / c_B. \quad (5)$$

Предлагаем читателю сравнить известную ему формулу для расхода теплоты, в которую входит не расчетная информация, а промежуточные величины, например, $G_{пр}$, $t_{см}$, t_k .



Рис. 11. Схема, объясняющая содержание и взаимосвязь технико-экономических показателей для системного анализа способов и средств воздухораспределения

Рассмотрим кратко очень важный, повсеместно ошибочно трактуемый в дискуссиях, статьях и книгах тезис о том, что будто бы рециркуляция воздуха из помещения экономит теплоту. Это далеко не так и по формуле (1), и по смыслу, ведь рециркуляция — это возврат воздуха с теми же параметрами, что и в помещении. Сократить расход теплоты можно, только уменьшив расход подаваемого системой наружного воздуха — см. формулу (1), для чего и применяется, например, известное управление воздухообменом по концентрации CO_2 (на эту тему написано много статей).

Фактические значения показателей могут отличаться от минимально-неизбежных по разным причинам: за счет потерь энергии в вентиляторе ($\eta_B < 1$), двигателе ($\eta_{\text{дв}} < 1$), потерь воздуха по трассе ($\Delta L_{\text{ут}} > 0$), уноса влаги при осушении за контактный (смесительный) аппарат и ее нежелательного испарения ($\Delta G_{\text{вл}} > 0$), незавершенности процесса в контактном аппарате ($E < 1$), своеобразного направления процесса в воздухоохладителе-испарителе холодильной машины, потерь теплоты, холода и влаги в системе и других причин. На практике широко применя-

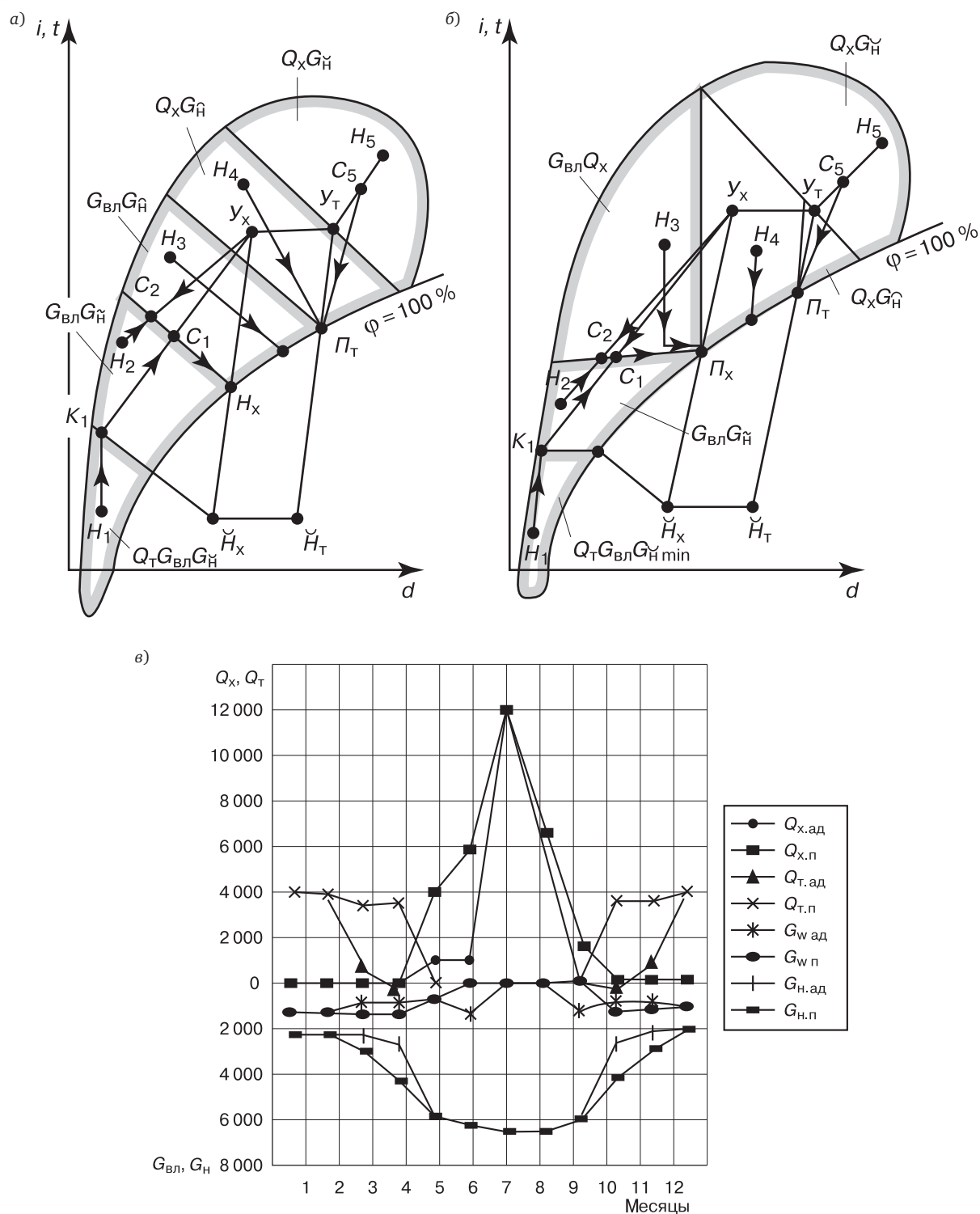


Рис. 12. Системный анализ методов увлажнения воздуха в СКВ водой и паром: а, б — расчетные схемы термодинамической модели СКВ с рециркуляцией при использовании камеры орошения (а) и парового увлажнителя (б) вместе с охладителем-осушителем: Q_T — режим с нагреванием; Q_x — режим с охлаждением (или с охлаждением-осушением); $G_{\text{Вл}}$ — режим с увлажнением; $G_{\text{Н min}}, G_{\text{Н var}}, G_{\text{Н max}}$ — режим с минимальным, переменным и максимальным ($G_{\text{Н max}} = G_{\text{пр}}$) расходом наружного воздуха; в — сводный график помесечного потребления (для Санкт-Петербурга, односменной работы, $L_{\text{пр}} = 2,23 \text{ кг/с}$, $L_{\text{Н min}} = 0,4 \text{ кг/с}$) теплоты, холода, влаги и расхода наружного воздуха центральной СКВ с изотальпийным (камера орошения, насадочный увлажнитель) или изотермическим (паровым) увлажнителем воздуха. Режимы работы согласно расчетным схемам (а и б) термодинамических моделей. Стабилизируемые параметры ($t_{\text{в}}$, $\phi_{\text{в min}} - \phi_{\text{в max}}$) не приведены. Данные С. Ю. Кондрашова, С. М. Красильникова при консультации А. А. Рымкевича. «Инженерные системы». 2001. № 4. С. 32–37

ются формулы для расходов в другой традиционной форме — не через исходные данные, однако они не имеют таких преимуществ и неприменимы для анализа.

Бездиаграммный выбор технологической схемы СКВ (см. СОК, 2011, № 4) является важным приложением теории нагрузок А. А. Рымкевича. Он заменяет построения в *i-d*-диаграмме расчетом. Приравняв теплоту, холод или влагу из уравнений (1)–(3) нулю, можно узнать, когда заканчивается или начинается данный режим. Такой расчет учитывает переменные нагрузки помещения, что не принимают во внимание при графических построениях, и в этом их возможная ошибка.

Пример системного анализа оптимизации подсистем

Несмотря на дискуссионность и многочисленные частные публикации, до последнего времени не было ясности в сравнении увлажнителей. Ряд специалистов проводили отдельные сравнения различных вариантов увлажнения, не рассматривая, однако, всю совокупность исходных условий и режимов работы конкретной системы в течение года, т. е. не используя системный анализ. Это тем более важно и своевременно, что современный и грядущий рынок предлагает большой выбор увлажнителей, а тарифы на энергоносители растут. Однако, как справедливо отмечают авторы, *«рекламная информация не всегда отвечает на вопросы, необходимые для обоснованного ее использования при проектировании систем в соот-*

ветствии с современными требованиями поиска оптимальных решений». В основу решения поставленной задачи был принят метод первичной оценки конкурирующих вариантов подсистемы увлажнения по технологическим показателям (годовым расходам теплоты, холода, влаги и др.). Результаты этого сравнения кратко представлены на рис. 12.

По результатам этого расчета получено, что сравниваемые варианты значительно отличаются по годовым расходам холода (в 1,5 раза), теплоты (в 2 раза) в пользу варианта изоэнтальпийного увлажнения. Что касается сравнения годовых расходов влаги на увлажнение, то он меньше на 10 % при увлажнении паром и на 10 % больше по расходу наружного воздуха. В числовом выражении годовые расходы для изоэнтальпийного и парового увлажнения соответственно составляют: теплоты — 3400/7050 кВт·ч/год, холода — 5500/7050 кВт·ч/год, влаги — 10,8/9,9 тыс. кг/год, наружного воздуха — 470/520 тыс. кг/год.

На этом далеко не исчерпывается научное наследие профессора А. А. Рымкевича, и если молодой читатель согласится с этой теорией — эффект памяти Ученого всегда будет с ним...

Литература

1. Рымкевич А. А., Халамейзер М. Б. Управление системами кондиционирования воздуха. М.: Машиностроение, 1977. 274 с.
2. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1990. 300 с.; изд. 2-е, перераб. и испр. СПб.: АВОК — С.-З.; 2003. 271 с.