

О повышении точности АСУ для систем вентиляции посредством индексного подхода

Рецензия эксперта на статью получена
XX.02.2024 [The expert review of the article
was received on February XX, 2024]

Анализ массовости типов зданий с принудительной вентиляцией

Вентиляционные установки (ВУ) зданий массовой застройки, независимо функционального назначения объектов, проектируются на основе двух критериев: обеспечение широты возможностей регулирования и настроек при относительно невысокой стоимости. Более тонкая настройка вентиляционных установок возможна или путём повышения аппаратных возможностей, либо применением более эффективных настроек на стадии эксплуатации объекта. С увеличением числа проданных вентиляционных установок становится более целесообразным внедрение аппаратных механизмов регулирования с повышенной точностью, что объясняется распределением затрат отдела R&D на возможно большее число изделий. Современный уровень комплектации вполне позволяет выполнить компоновку вентиляционных установок на уровне, достаточном для удовлетворения значительной части потребностей заказчика. В настоящее время существенным потенциалом обладает ниша оказания услуг по уточнению базовых настроек контроллера вентустановок с учётом особенностей конкретного здания.

Если здание или их объединение имеет котельную и самостоятельно производит тепловую энергию, то повышая эффективность потребления тепловой энергии, организация уменьшает потребление и соответственно уменьшает затраты. Наиболее экономически целесообразно выполнять производство и настройку для вентиляционных систем типового испол-

нения и предназначенных для многоквартирных домов (МКД), офисных зданий, зданий бюджетной сферы и прочих объектов типовой застройки города. Высокая серийность вентиляционных установок обеспечит минимизацию стоимости при достижении максимума эффекта.

К особенностям МКД относится их массовость и минимальные требования как к автоматизированным системам управления (АСУ), так и к стоимости этих систем на этапах сооружения и эксплуатации. Необходимо отметить, что незначительная часть МКД, построенные, как правило, по нетиповым проектам, реализует большой набор функций автоматизации, сравнимый по сложности с АСУ крупных офисных зданий или ТРЦ.

В части автоматизации систем теплоснабжения в МКД выполняется регулирование либо в индивидуальном тепловом пункте (ИТП), что является наиболее предпочтительным способом, либо в центральном тепловом пункте (ЦТП), что является менее продуктивным с точки зрения детальной настройки, но более массовым и экономичным решением. Принудительные системы вентиляции встречаются в МКД достаточно редко.

Вентиляционные системы таких типовых объектов, как поликлиники, библиотеки, школы, детские сады и пр., выполняются двумя различными способами:

1. Обогрев исключительно посредством системы централизованного отопления.
2. Частичный обогрев посредством системы централизованного отопления и догрев за счёт системы приточной вентиляции с подготовленным воздухом.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.03).

О повышении точности АСУ для систем вентиляции посредством применения индексного подхода

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, кафедра тепломассообменных процессов и установок (ТМПУ), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор НИИ «ИКСЭЛ»; **Е. В. Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»; **Д. Н. Темрина**, студент, НИУ «МЭИ»

Настройка автоматизированных систем управления общеобменной вентиляцией (АСУ ОВ) для зданий с теплоснабжением через приточную вентиляцию является долгосрочным процессом. Сокращение сроков настройки приводит к увеличению погрешности и перерасходу тепловой энергии. Разработка и применение методики уточняющей настройки АСУ ОВ позволит повысить экономичность и эффективность системы по критерию точности. В статье показаны наборы факторов, целесообразные к учёту при дополнительной настройке АСУ ОВ для объектов различного масштаба. Показан подход к вычислению единого интегрального индекса системы, показаны его составляющие. Математически продемонстрирована возможность снижения величины случайной погрешности на 5,8% при учёте дополнительных четырёх факторов, полученных на основе индексного подхода, дополнительно к восьми имеющимся климатическим факторам.

Ключевые слова: общеобменная вентиляция, здание типовой застройки, проектные характеристики, интегральный индекс, случайная погрешность, эффективность эксплуатации.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.03).

On improving the accuracy of automated control systems for ventilation systems through the use of an index approach

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the "IKSEI" Research and Development Institute; **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"; **D. N. Temrina**, student, NRU "MPEI"

Setting up automated control systems for general exchange ventilation systems (ACS for GEVS) for buildings with heat supply through supply ventilation is a long-term process. Shortening the setup time leads to an increase in error and overspending of thermal energy. The development and application of a methodology for clarifying the settings of the ACS for GEVS will increase the efficiency and effectiveness of the system according to the criterion of accuracy. The article shows sets of factors that are appropriate to take into account with additional configuration of ACS for GEVS for objects of various scales. An approach to calculating a single integral index of the system is shown, its components are shown. The possibility of reducing the value of the random error by 5.8% is mathematically demonstrated, taking into account the additional four factors obtained on the basis of the index approach, in addition to the eight available climatic factors.

Key words: general exchange ventilation, standard building, design characteristics, integral index, random error, operational efficiency.

Для второго случая теплоснабжение через систему приточной вентиляции может достигать 50–60 % и до 80 % от общей потребности в тепловой энергии здания. По такому же принципу могут выполняться системы теплопотребления торгово-развлекательных центров, офисных зданий, реже — крупных больниц, образовательных центров, объектов гостиничного типа относится наличие собственной генерации тепловой и электрической энергии. Автоматизированная система управления теплового пункта такого объекта обязана включать в себя единый комплекс, охватывающий как подсистемы потребителей теплоты, так и управление собственным источником теплоснабжения, а также обеспечивать оперативное взаимодействие с системой внешнего теплоснабжения от городских и/или иных сетей.

Для очень крупных объектов, а также для объектов, использующих преимущества «зелёной» энергетики (доля которых в общем числе объектов крайне невелика), АСУ ТП дополнительно должна включать в себя подсистемы использования:

- тепловых насосов для использования теплового градиента земли или наружного воздуха, использования низкопотенциальной теплоты вентиляционных выбросов;
- теплообменных аппаратов с применением элементов Пельтье;
- аккумуляторов холода и/или теплоты;
- использование ВИЭ (солнечные коллекторы, солнечные фотоэлектрические преобразователи и пр.);
- использование энергоэффективных теплообменных аппаратов с автоматически управляемой эффективностью теплообмена в зависимости от режимов теплопотребления и пр.

Проведённый анализ демонстрирует, что прогнозирование энергопотребления с последующим повышением энергетической эффективности наиболее целесообразно производить в массовом сегменте рассмотренных объектов.

Формирование перечня параметров для повышения точности АСУ ОВ

На теплоснабжение зданий в России в настоящее время затрачивается около 430 млн т.т., или примерно 45 % всех энергетических ресурсов, расходуемых в стране. Это в 2,3 раза больше, чем на общее производство электроэнергии. В холодные зимы эта цифра вырастает ещё на 30–50 млн т.т. Годовое производство тепловой энергии оценивается в 2400–2460 млн Гкал. На рис. 1 представлено её долевое распределение по потребителям в городе Москве.

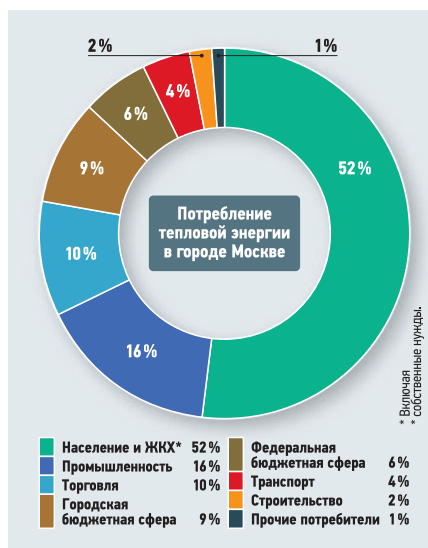


Рис. 1. Распределение теплопотребления по потребителям в городе Москве

Расчёт удельного потребления тепловой энергии на 1 м² полезной площади дома на примере жилых зданий ЮАО города Москвы определил значение среднего удельного потребления тепловой энергии на 1 м² полезной площади дома — 0,226 Гкал/(м²·год). При этом выявлены 322 многоквартирных дома, удельное потребление которых превышает среднее по ЮАО более чем в два раза. Если бы удельное потребление по таким домам было на уровне среднего, то суммарное потребление тепловой энергии составило бы 260 694 Гкал. Излишнее потребление тепловой энергии по этим 322 домам составило 526 566 Гкал, а переплата в денежном эквиваленте — почти 906 млн руб. (в тарифах 2014 года). Таким образом, фактически имеется финансовый ресурс в размере не менее 900 млн руб. ежегодно, который можно использовать для приведения этих же 322 домов в надлежащее теплотехническое состояние [1].

Для достижения цели более точной настройки системы регулирования необходимо собрать данные как по неизменяющимся характеристикам здания, так и по его эксплуатационным характеристикам. Блок неизменяющихся характеристик включает в себя более 100 параметров и подразделяется на четыре типа:

1. Проектные характеристики.
 2. Оснащённость (то есть энергоэффективность).
 3. Экологические показатели.
 4. Качество эксплуатации.
- К неизменяющимся проектным характеристикам, например, относятся:
- 1.1. Площадь здания, м².
 - 1.2. Объём здания, м³.
 - 1.3. Высота здания, м.
 - 1.4. Отапливаемая площадь здания, м².
 - 1.5. Отапливаемый объём здания, м³.

1.6. Удельная отопительная характеристика $q_{отоп}$, Вт/(м³·°C).

1.7. Назначение здания (непосредственно по зонам здания).

1.8. Удельная вентиляционная характеристика $q_{отоп}$, Вт/(м³·°C).

1.9. Приведённое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R , (м²·°C)/Вт.

1.10. Материал фундамента и материал отделки фундамента.

1.11. Материал внутренних стен.

1.12. Год постройки.

1.13. Количество этажей.

1.14. Площадь ограждающих конструкций здания, м².

1.15. Площадь световых проёмов в здании (окон, витражей), м².

1.16. Виды стеклопакетов.

1.17. Средняя расчётная температура внутреннего воздуха $t_{вн}$, °C.

1.18. Форма здания.

1.19. Форма крыши.

1.20. Вид фасада (вентилируемый или не-вентилируемый).

1.21. Коэффициент остеклённости здания $k_{остекл}$.

1.22. Материал утеплителя и пр.

К неизменяющимся показателям оснащённости, например, относятся:

- 2.1. Тип системы отопления.
- 2.2. Тип системы вентиляции.
- 2.3. Тип системы кондиционирования.
- 2.4. Наличие и особенности систем автоматики и управления в здании, степень автоматизированности по системам.
- 2.5. Возможность утилизации теплоты вентиляционных выбросов и пр.

Блок изменяющихся со временем эксплуатационных характеристик включает в себя более 200 параметров и подразделяется на пять типов:

- А. Технические и технологические.
- В. Климатические и климатологические.
- С. Социальные.
- Д. Экономические.
- Е. Региональные.

К изменяющимся техническим характеристикам, например, относятся:

- А.1. Годовое / почасовое число часов работы основных энергопотребителей, ч.
- А.2. Помесячный / почасовой объём потребления электроэнергии за год, кВт·ч.
- А.3. Помесячный / почасовой объём потребления ХВС за год, м³.
- А.4. Помесячный / почасовой объём потребления ГВС за год, м³.
- А.5. Помесячная / почасовая средневзвешенная по объёму температура внутри здания за год, °C.
- А.6. Помесячная / почасовая средневзвешенная по объёму относительная влажность воздуха [%] внутри здания за год и др.

К изменяющимся климатическим характеристикам относятся, например:

В.1. Направление ветра (угол) на высоте 10–12 м над поверхностью земли.

В.2. Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП).

В.3. Температура наружного воздуха [°C] на высоте 2 м над поверхностью.

В.4. Атмосферное давление на уровне станции (мм рт. ст.).

В.5. Относительная влажность наружного воздуха, %.

В.6. Скорость ветра на высоте 10–12 м над поверхностью земли, м/с.

В.7. Продолжительность облачности светового дня, ч.

В.8. Степень затемнённости небосклона облачностью за световой день [%] и др.

Часть приведённых данных может быть получена путём непосредственных измерений. Другая часть информации является недоступной по причине необходимости проведения сложных измерений или вследствие необходимости частичного разбора оборудования, либо в силу высокой стоимости и длительности проведения необходимых измерений.

Недоступная информация частично может быть восстановлена посредством проведения косвенных измерений и обработки данных с применением «искусственного интеллекта» (нейронных сетей), а также с помощью метода экспертных оценок в сочетании с использованием индексов технического состояния.

Применение индексов технического состояния

Комплексный эффект от внедрения одного или нескольких энергосберегающих мероприятий (ЭСМ) необходимо рассматривать в свете определения значения «единого интегрального индекса системы» (ЕИИС), учитывающего взаимодействие групп показателей при согласованной работе подсистем ЦТС. Диапазон возможных значений ЕИИС находится в диапазоне от 0 до 100 %, где 0 % соответствует наихудшему состоянию системы, 100 % — наилучшему. Вычисление ЕИИС предлагается выполнять по формуле:

$$ЕИИС = (I_y + I_z + I_n)/3,$$

где I_y — индекс устойчивости эксплуатации инженерных систем; I_z — индекс эффективности эксплуатации инженерных систем; I_n — индекс надёжности эксплуатации инженерных систем.

Определение индексов I_y , I_z и I_n производится независимо друг относительно друга. Расчёт индекса эксплуатационной надёжности I_n производится на основании анализа потока отказов каждого из типов оборудования по алго-



Рис. 2. Технологии, приводящие к экономии тепловой энергии в системах вентиляции

ритму [2]. Определение значения индекса устойчивости эксплуатации инженерных систем I_y связано с сохранением работоспособности энергосистемы и подсистем объекта при отклонении параметров энергоносителей от своих нормативных значений [3, 4]. Индекс эффективности I_z определяется на основании метода экспертных оценок с учётом энергосберегающих технологий, реализованных на объекте (рис. 2).

При формировании требований к полноте массива исходных данных для составления прогнозной функции энергопотребления важно достичь достаточную точность для анализа изменений при разнообразных внешних воздействиях. Функции прогнозирования обычно основаны на исходных данных, полученных в результате экспериментов или наблюдений. Сложность расчёта для конкретной вентиляционной системы связана с тем, что часть данных получена на основе измерений, а другая — на основе экспертных оценок. В случае, если некоторые данные дополняют друг друга, возникает вопрос о приоритетности данных. Например, расчётная зимняя температура и теплосодержание наружного воздуха принимаются согласно требованиям с учётом параметров тепловой инерции здания. В этом случае целесообразнее измерять тепловое сопротивление, характеризующее степень тепловой защиты ограждающей конструкции, а также коэффициент, зависящий от ориентации ограждения по отношению к наружному воздуху для исследуемого здания.

На основании сформированного ранее перечня параметров для повышения точности АСУ ОВ становится возможным использовать в качестве уточняющих факторов дополнительно около 100 параметров. Учитывая, что детерминиро-

ванный расчёт позволяет в базовом варианте использовать около 200 параметров здания, то применение индексов улучшает техническое описание объекта с ВУ на величину до 50 %.

Считая данные, полученные на основе индексов технического состояния, некоррелируемыми с данными блоков эксплуатационных характеристик, изменяющихся со временем, становится возможным рассчитывать повышение точности расчётов настроек АСУ ОВ. Если известно, что зависимости носят линейный характер и в первоначальной настройке использовалось восемь климатических факторов В1–В8, то с применением индексов число факторов возрастёт до 12 единиц. Считая надёжность данных $\alpha = 0,9$, получаем изменение коэффициента доверия (Стюдента) от значения $t_{\alpha} = 1,9$ до $t_{\alpha} = 1,79$.

Случайная погрешность определяется по формуле $\Delta u = t_{\alpha} S$, где S — дисперсия величины, измеряемой в эксперименте при настройке АСУ ОВ. Следовательно, для 8 факторов имеет место $\Delta u_8 = 1,9 S$, для 12 факторов — $\Delta u_{12} = 1,79 S$.

Для рассматриваемого примера применение уточняющего единого интегрального индекса системы позволит снизить величину случайной погрешности на 5,8 %.

Численный эксперимент, проведённый для типового здания VI-49 школы, показал, что при величине потребляемой тепловой энергии $Q_{\text{потр}} = 764$ Гкал за отопительный период, уточнение настроек АСУ ОВ за счёт снижения случайной погрешности приведёт к экономии в натуральном выражении в размере 44,3 Гкал за отопительный период.

Использование интегрированного подхода, комбинирующего детерминированные модели, и применение предложенного единого интегрального индекса системы позволяет улучшить точность настройки автоматизированных систем управления для систем обменной вентиляции. С увеличением масштаба объекта и ростом числа влияющих факторов соразмерно будет увеличиваться эффект от использования дополнительных индексов. ●

1. Гужов С.В., Глазов В.С., Шувалов С.Ю. Техно-экономическое обоснование внедрения типовых энергосберегающих мероприятий в теплоэнергетике: учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2018. 84 с.
 2. Антышев И.А., Гужов С.В., Лебедев И.П. [и др.] Надёжность систем энергоснабжения: практикум. — М.: Изд-во МЭИ, 2018. 64 с.
 3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Дата введ.: 01.07.2014.
 4. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Дата введ.: 01.01.2013.
- References — see page 79.