

Лобикова О.М.

старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Белорусско-российский университет, г. Могилев
olg.lobikova@yandex.ru

Галюжин С.Д.

к.т.н., доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Белорусско-российский университет, г. Могилев

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ

Ключевые слова: умный дом, энергоэффективность, экологичность, система обеспечения микроклимата, системы отопления, системы вентиляции.

Keywords: smart home, energy efficiency, environmental performance, microclimate support system, heating system, ventilation system.

Для обеспечения условий социального благополучия населения, национальной безопасности и, в конечном итоге, устойчивого экономического роста государства необходимо создание инновационной экономики. Проблемы, остро стоящие перед мировым сообществом в области экологии, требуют внедрения во все сферы деятельности человека технологий, основанных на экологической идеологии. Наиболее важным аспектом зеленого строительства является минимизация энергопотребления.

В Республике Беларусь разрабатываются и реализуются новые научно-технические и инженерные решения по снижению потребления энергии при эксплуатации зданий, создана вся необходимая нормативно-правовая база для перехода к массовому проектированию и строительству энергоэффективного жилья.

Для владельцев недвижимости важны вопросы обеспечения контроля, ухода, защиты недвижимости в сочетании с экономией расходов. Эти противоречивые требования призвано обеспечить внедрение системы «умный дом» (англ. *Smart House*, также англ. *Intelligent Building*). Комфорт и безопасность – являются необходимыми элементами высокой производительности труда и благополучной жизнедеятельности людей. Человек проводит в помещении 50...90% времени, соответственно микроклимат помещения является важным фактором жизни. Поэтому ключевые позиции при обеспечении комфорта помещений, эффективности потребления ресурсов и экологичности отводятся системам обеспечения микроклимата помещений, проектирование, установка и эксплуатация которых требуют значительных энергетических и, соответственно, денежных затрат. Поэтому понятия «умный» дом и «энергоэффективный» дом используются как синонимы.

При проектировании ключевого элемента «умного» дома – систем обеспечения микроклимата и ее составляющих элементов, отопления и вентиляции, существуют нерешенные проблемы. Существующие методики подбора оборудования системы отопления не учитывают в комплексе требования экономичности, экологичности и безопасности проектов в долгосрочном периоде с учетом конкретных специфических особенностей для заказчика. Необходимо устранить несоответствия принимаемых к реализации проектов современным требованиям энергоэффективности и экологической эффективности, а также проектировать системы в автоматизированном режиме с учетом всех факторов. При строительстве и реконструкции «умных» зданий предусматривается установка эффективных вентиляционных систем, в которых, как правило, применяются рекуператоры, позволяющие частично утилизировать тепло удаляемого воздуха. При отсутствии или несоответствии запроектированной системы удаления конденсата параметрам функционирования объекта серьезной проблемой в зимнее время является образование наледи в вытяжных воздуховодах снаружи помещения, а также инея на наружной поверхности рекуператора, особенно если он установлен в отдельном неотапливаемом помещении. Образование инея и наледи вызывает сокращение живого потока удаляемого воздуха и, в конечном итоге, прекращение функционирования системы вентиляции. Объем образующегося конденсата для проектирования системы его удаления получают экспериментальным путем, что является крайне недостоверным способом применительно к определенным условиям. Расход конденсата зависит от субъективных условий эксплуатации вентиляционной установки: состояния (температуры и относительной влажности) удаляемого из помещения воздуха; от его подачи и степени его охлаждения на выходе рекуператора. Поэтому актуальным является разработка методологии автоматизированного расчета системы вентиляции, которая позволит подобрать необходимое оборудование для субъективных условий эксплуатации.

Существующий традиционный подход, при котором проектные решения принимаются независимо друг от друга, приводит к несогласованности принимаемых к реализации проектных решений. Необходима разработка комплексного подхода к проектированию, который опирается на тщательное рассмотрение и интеграцию ряда ключевых целей проектирования, в том числе: эстетику, доступность, стоимость, функциональность, безопасность, охрану, здоровье и благополучие жителей или работников предприятия, а также экологические характеристики объекта.

При проведении технико-экономического обоснования применения систем обеспечения микроклимата «умного дома» необходимо проведение комплексного всестороннего анализа альтернативных проектов систем отопления с учетом субъективных условий эксплуатации. Используемые в настоящее время методы оценки систем отопления не учитывают остаточную стоимость оборудования, риски и экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в долгосрочном периоде¹. В предыдущих наших исследованиях рассмотрены наиболее распространенные в настоящее время инновационные системы отопления на различных видах топлива: электрической энергии (WESPEHEIZUNG); природного газа (ARISTON); твердого топлива (каменном угле, антраците, торфобрикете, дровах (Космос-10); с использованием городской тепловой сети; теплового насоса (NIBEBO/W45).

При проведении оценки систем отопления были учтены все текущие и единовременные расходы с учетом дисконтирования, а также экологический ущерб, получаемый в результате выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Для отопления площади в 200 м² индивидуального жилого дома с эффективной теплоизоляцией определили требуемый теплогенератор, количество потребленного тепла за отопительный сезон ($155,52 \cdot 10^9$ Дж или 43 200 кВт·ч (37,145 Гкал) тепловой энергии), количество тепла, получаемое при сжигании различных видов топлива, стоимость требуемого для отопления здания топлива в отопительный сезон. Риски, возникающие при эксплуатации систем отопления оценивали по известной методике с учетом вероятности отказа, и коэффициентов влияния последствий отказа на сроки, стоимость, содержание, качество.

Для комплексной оценки и выбора оптимального проекта, удовлетворяющего требованиям заказчика в данной работе использован метод площадей². В предлагаемом методе исходя из данных, представленных в [1], построена лепестковая диаграмма с заданной шкалой деления, демонстрирующая соотношение характеристик для каждого проекта. Характеристики проектов распределялись по шкале на основе их желательности для идеального проекта. Диаграмма представлена на рис. 1. При определении площадей фигур для каждого проекта, с использованием программного пакета Mathcad был выполнен их сравнительный анализ на основе следующих показателей: приведенные затраты, суммы экологического ущерба, рассчитанные исходя из массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и ставки экологического налога; суммарные дисконтированные денежные потоки по проектам отопления за 10 лет, с принятой нормой дисконтирования 15% (из расчета средней фактической ставки по долгосрочным кредитам с применением надбавки за риск)³.

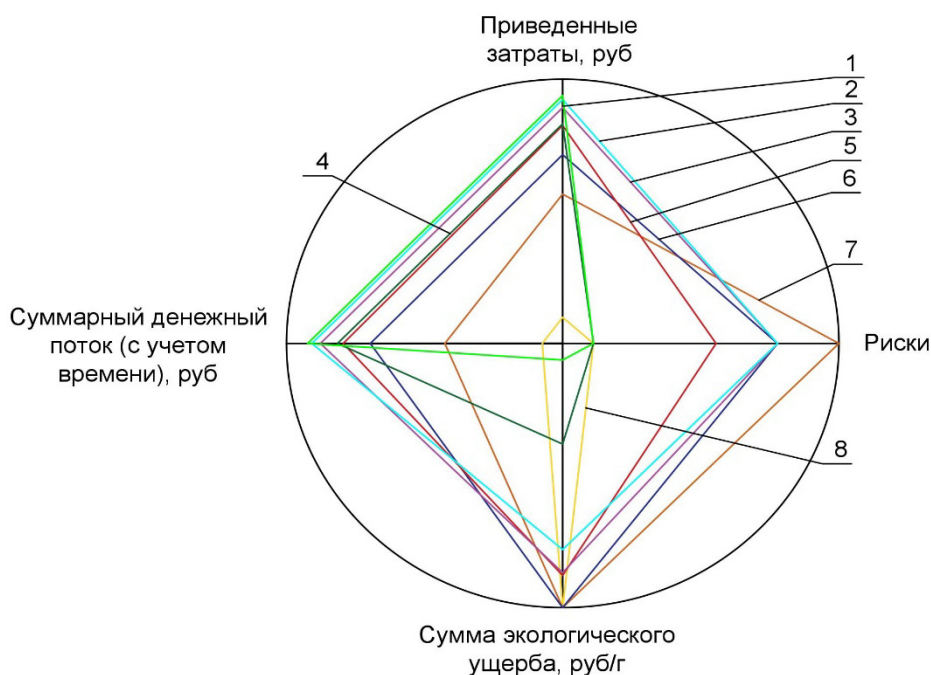


Рисунок 1.
Диаграмма соотношения характеристик проектов отопления

1 – твердотопливный котел на каменном угле; 2 – то же на торфобрикете; 3 – то же на дровах; 4 – то же на антраците; 5 – газовый котел; 6 – городская теплосеть; 7 – тепловой насос; 8 – электродкотел.

¹ Галюжин С.Д. Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов / Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2019. – № 2. – С. 88–101.

² Щур А.В. Комплексный анализ проектов систем отопления малоэтажной застройки в Республике Беларусь / Щур А.В., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт: в 3-х частях / Отв. ред.: Н.Д. Беляев, В.В. Елистратов. 2019. – С. 64–67.

³ Щур А.В. Комплексный анализ проектов систем отопления малоэтажной застройки в Республике Беларусь / Щур А.В., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт: в 3-х частях / Отв. ред.: Н.Д. Беляев, В.В. Елистратов. 2019. – С. 64–67; Галюжин С.Д. Экономическая выгода мероприятий повышения энергетической эффективности систем вентиляции / Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Казахстан-Холод 2019: Сб. докл. межд. науч.-техн. конф. (20–21 февраля 2019г.). – Алматы: АТУ, 2019. – С. 104–110.

Показатели сравниваемых площадей для проектов отопления

Тип (марка) теплогенератора	Показатель площади
WESPE HEIZUNG (электрокотел)	10,1623
Ariston (газовый котел)	114,9283
Космос-10 (твердотопливный котел на каменном угле)	51,8025
Космос-10 (твердотопливный котел на антраците)	56,1746
Космос-10 (твердотопливный котел на торфобрикете)	143,5888
Космос-10 (твердотопливный котел на дровах)	145,6246
Городская теплосеть	126,3858
NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	111,6456
Идеальный теплогенератор	200

Исходя из полученных результатов видно, что наиболее эффективным в рассматриваемом примере проекта является использование твердотопливных котлов на дровах и торфобрикете. Вполне конкурентоспособными являются теплогенераторы в виде газового котла и теплового насоса, а также городская теплосеть.

Естественной вентиляции в большинстве случаев недостаточно для создания комфортного микроклимата при эксплуатации здания. В холодное время года при открытых окнах в режиме проветривания быстро уходит тепло, а это приводит к лишним затратам на отопление. При строительстве и реконструкции зданий в устанавливаемых современных вентиляционных установках широко применяются рекуператоры, в которых осуществляется теплообмен между приточным и удаляемым воздухом. Рекуператор (от лат. *Recuperator* – *получающий обратно, возвращающий*) – теплообменник, позволяющий передавать тепло от удаляемого из помещения в окружающую среду загрязненного воздуха к чистому приточному воздуху. Наибольшее распространение получили пластинчатые рекуператоры. Основные преимущества данной конструкции рекуператоров – сочетание невысокой по сравнению с другими типами рекуператоров цены, высокой эффективности, компактности и надежность эксплуатации при положительной температуре воздуха¹.

В процессе теплообмена в рекуператоре происходит охлаждение удаляемого воздуха и, как правило, образование в нем конденсата. При отсутствии системы удаления конденсата в зимнее время происходит образование наледи в вытяжных воздуховодах снаружи помещения, а также инея на наружной поверхности рекуператора, особенно если он установлен в отдельном неотапливаемом помещении. В результате повышаются аэродинамическое сопротивление вытяжного воздуховода и расход электроэнергии на привод вытяжного вентилятора. В конечном итоге система вентиляции с установленным рекуператором перестает выполнять свои функции. Для принятия решения о проектировании необходимого вентиляционного оборудования здания с учетом многокритериальной оптимизации необходимы конкретные параметры условий эксплуатации оборудования. Данная задача представляет определенную сложность из-за отсутствия методик решения конкретных проблем, возникающих в процессе эксплуатации вентиляционных систем. Кроме того, установка в систему вентиляции рекуператора требует дополнительных затрат финансовых ресурсов на приобретение, установку, обслуживание и эксплуатацию рекуператора². При проектировании современной эффективно работающей вентиляционной системы необходим многокритериальный подход.

Прямая связь в управлении процессами, технологиями и результатами осуществляется с использованием основных принципов и методологических подходов теории управления сложными социально-экономическими системами³. Управление строится на сравнении планового и фактического состояния объекта.

Исследуя процесс управления САМ, имеет смысл говорить об эффективности управления только в том случае, если предварительно были заданы критерии оценки. При сопоставлении эффективности альтернатив подразумевается, что они сравнимы, то есть имеется параметр, по которому альтернативы можно сравнивать. Так, использование средств и методов игрового социального имитационного моделирования в системе подготовки специалистов, то есть в вузе и системе повышения квалификации, то есть в процессах управления персоналом хозяйствующих субъектов, позволяет повысить профессиональные и социокоммуникативные компетенции участников процесса. При этом, как показывает практика⁴, темпы роста активности у лиц, нейтрально или негативно относящихся к участию в общественно-политической жизни региона после знакомства с идеологией моделирования, прохождения обучения на спецкурсах и/или семинарах опережают аналогичные показатели, которых достигли участники, имеющие положительное отно-

¹ Галюжин С.Д. Экономическая выгода мероприятий повышения энергетической эффективности систем вентиляции / Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Казахстан-Холод 2019: Сб. докл. межд. науч.-техн. конф. (20–21 февраля 2019г.). – Алматы: АТУ, 2019. – С. 104–110; Сазонова А.А. Применение рекуператоров тепла в системах обеспечения микроклимата / Сазонова А.А., Кельвина К.В. // Научн. альманах. 2016. – № 4–3 (18). – С. 178–181.

² Самарин О.Д. О новом подходе к учету конденсации водяных паров при тепловом расчете воздухоохладителей // Изв. высш. уч.-х заведений. Строительство. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2016. – № 2 (686). – С. 67–73.

³ Клименко И.С. Алгоритмы и модели проблемно-ориентированного управления сложными социально-экономическими системами // Сб. Всерос. науч.-практ. конф. «Математические методы и модели в исследовании государственных и корпоративных финансов и финансовых рынков». – Уфа, 2015. – С. 11–14.

⁴ Клименко И. С. Инновационные технологии обучения и развития персонала // Национальные проекты в системе приоритетов развития российской экономики: социальные, правовые и духовные аспекты: материалы XIV международной научно-практической конференции. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. – С. 27–31.

шение к объединению в социальные группы для решения проблем города/района и т.п. микросоциумам, форумам в глобальной сети и т.п., образованным для достижение некоторой общей цели.

Идея критериальной оценки результатов управления САМ приемлема как с точки зрения поиска оптимальных вариантов, так и с точки зрения последующего анализа полученных результатов. Как правило, такой анализ дает возможность оценить имеющиеся резервы улучшения и скорректировать подходы к управлению. В то же время, необходимо учитывать такие факторы, как сложность определения критериев, локальный характер критериальной оценки, трудности моделирования с целью перевода качественного описания объекта управления в систему количественных показателей. Для снижения негативного влияния обозначенных факторов необходимо в структуру системы управления САМ вводить специалистов, обладающих предметными компетенциями в сфере моделирования сложных социально-экономических систем.

Особое внимание при формировании системы управления САМ необходимо, по мнению авторов, уделять методам управления. Классическое деление методов управления на организационные, административные, финансово-экономические, социально-психологические вряд ли целесообразно при формировании нового подхода к управлению САМ. Воспитание и формирование конкурентоспособного специалиста с активной гражданской позиции начинается в образовательном учреждении, именно поэтому вузы и колледжи являются первичным звеном в системе управления. Образовательные учреждения должны строить систему обучения и воспитания в соответствии с образовательными парадигмами государства и требованиями общества; ориентируясь на потребности молодого человека, выбирать такие методы и технологии формирования общекультурных, профессиональных, социальных, коммуникативных компетенций, которые помогут ему в развитии и самоорганизации, подготовят к конкуренции на рынке труда, процессу адаптации в социуме и т.п.

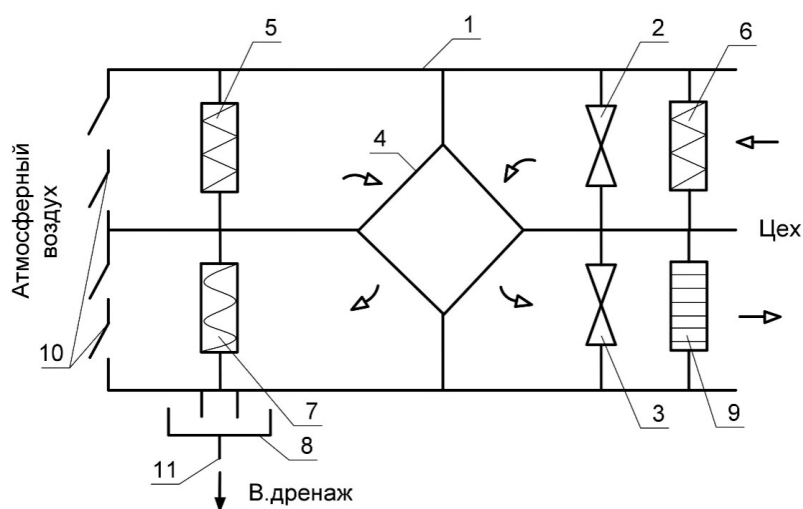


Рисунок 2.

Схема вентиляционной установки с рекуператором

1 – корпус установки; 2 – вытяжной вентилятор; 3 – приточный вентилятор; 4 – рекуператор; 5, 6 – фильтры; 7 – каплеуловитель; 8 – дренажный поддон; 9 – нагреватель; 10 – жалюзи; 11 – дренажный трубопровод

Разработана принципиальная схема вентиляционной установки с рекуператором (рис. 2). Электрическая энергия, затраченная на преодоление аэродинамических сопротивлений, в пневмолиниях притока и вытяжки будет превращаться в тепловую энергию. При этом будут нагреваться электродвигатель вентилятора, рабочее колесо и корпус вентилятора, а также воздух при движении в каналах рекуператора и воздействии на него лопастей вентилятора. При правильной компоновке вентиляционной установки 1, приведенной на рис 2, удаляемый воздух из-за упомянутых сопротивлений будет частично нагреваться от вытяжного вентилятора 2 в самом рекуператоре 4 и примерно половину данной тепловой энергии удаляемый воздух будет отдавать приточному воздуху. Приточный вентилятор 3 установлен после рекуператора, поэтому все тепло, образующееся в результате преодоления сопротивления рекуператора на пневмолинии притока, будет передаваться приточному воздуху.

Следует отметить, что для эффективного протекания данных процессов теплопередачи стенки корпуса вентиляционной установки 1 должны иметь соответствующее утепление. Таким образом, около $\frac{3}{4}$ тепловой энергии, образующейся в результате преодоления аэродинамических сопротивлений рекуператора, будет передаваться приточному воздуху, поступающему в помещение.

Следует отметить, что установка рекуператора ведет к удорожанию вентиляционной установки. Определим срок окупаемости (табл. 2).

Оценка срока окупаемости проекта

Статья расходов, показатель	Значение показателя
Стоимость рекуператора Klingenburg PWT 25	8400 Евро / 19027 BYN
Затраты на усложнение корпуса установки	170 Евро / 385 BYN
Экономия на отоплении за год при применении рекуператора при 2-х сменном режиме работы	7597,04 Евро / 17207,6 BYN
Срок окупаемости	1,1 месяца

Срок окупаемости проекта рассчитан исходя из того, что все это время (1,1 месяца) будут низкие температуры атмосферного воздуха. Кроме того использование рекуператора в системе вентиляции помещения дает экологический эффект¹. Данный эффект возникает при снижении потребления энергетических ресурсов, используемых на отопление помещения, в результате снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, возникающих при сжигании топлива. Экономическая составляющая экологической эффективности проявляется в:

- экономии энергоресурсов;
- снижении производственных затрат;
- сокращении выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- предотвращении изменения климата за счет уменьшения парникового эффекта;
- повышении качества жизни за счет снижения уровня вредных выбросов и их негативного воздействия на здоровье жителей.

Конечной целью исследования является разработка методологии комплексного подхода к проектированию, строительству, эксплуатации зданий на основе принципов «зеленого» строительства: внедрение инновационных технологий для снижения энергопотребления необходимо осуществлять на всех стадиях жизненного цикла инвестиционного проекта (прединвестиционной, инвестиционной и эксплуатационной) и при проектировании всех систем и элементов здания. При этом создание «зеленого дома» должно обязательно сочетаться с наличием высоких эксплуатационных характеристик объекта, т. е. создание «умного зеленого дома».

Разработанный комплексный подход в отличие от традиционного подхода, при котором проектные решения принимаются независимо друг от друга, опирается на тщательное рассмотрение и интеграцию ряда ключевых целей проектирования, в том числе: эстетику, доступность, стоимость, функциональность, безопасность, охрану, здоровье и благополучие жителей или работников предприятия, а также экологические характеристики объекта.

Разработанная методика включает последовательное выполнение четырех этапов. На первом этапе при выборе варианта проектного решения необходимо определить приоритеты заказчика: (низкие единовременные (начальные) расходы и (или) низкие эксплуатационные расходы; прогнозируемый срок эффективной эксплуатации объекта; назначение объекта в течение всего жизненного цикла и возможное его изменение; изменение целей использования объекта). Окончательное решение о том, какие из целей первичны в каждом конкретном случае и какие методы снижения энергопотребления целесообразно применить на каждой стадии жизненного цикла объекта, должен принимать застройщик с учетом совокупности факторов, проводя комплексную оценку альтернативных решений. Второй этап – выбор используемого для анализа метода оценки совокупных инвестиционных затрат в течение всего жизненного цикла объекта. Третий этап – непосредственно проведение оценки жизненного цикла объекта и, в соответствии с проведенной оценкой, определение подходов к принимаемым стратегиям энергосбережения и выбор проектных решений из множества альтернатив. Заключительный этап – на основе разработанного алгоритма рассматриваются в комплексе восемь целей проектирования для создания высокоэффективного объекта промышленного или гражданского назначения: доступность, эстетичность, экономическая эффективность, функциональность, здоровье, безопасность, надежность и устойчивость. Использование целевого комплексного подхода к проектированию и строительству объектов способствует реализации поставленных задач минимизации энергопотребления в сфере строительства и эксплуатации зданий.

¹ Лобикова Н.В. Методический подход к проектированию системы вентиляции зимнего сада при формировании элементов городской среды / Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // Проблемы, факторы и особенности развития инновационной экономики: Материалы межд. научно-практической конф. – М.: Институт бизнеса и дизайна, 2019. – С. 252–262.