

Системный подход к энергосбережению в инженерных сетях зданий

Коммерческий директор Л.Л. Гошка*,
ООО «Кола»

Ключевые слова: экономия энергии; энергосбережение; адаптационный синдром; сложные системы; нормальное и степенное распределение; внешние и внутренние сети; воздухообмен.

В статье Георгия Малинецкого «Проектирование будущего и модернизация России» отмечается [1], что развитие теории самоорганизации или синергетики связано с фундаментальным вопросом о том, как примирить идеи термодинамики (в соответствии со вторым началом которой системы идут к наиболее вероятному, неупорядоченному состоянию) и теории эволюции (которая говорит о развитии и усложнении сложных систем и выявляет механизмы этого). В соответствии с идеями одного из основоположников синергетики И.Р. Пригожина, упорядоченность возникает и поддерживается в открытых, нелинейных, далеких от равновесия системах благодаря потокам энергии, вещества или информации, проходящим через систему.

На наш взгляд, наиболее ярко противоречия между законами термодинамики и теорией эволюции проявляются при реализации программы энергосбережения. Более того, эти противоречия мы ощущаем на себе.

Программы экономии энергии и энергосбережения, по сути своей, – это различные способы манипуляции энергией в здании [2]. Проанализируем, к каким последствиям эти манипуляции могут приводить.

Вслед за аномально жарким летом 2010 года биосфера «подарила» нам очередной естественный эксперимент в виде «ледяного» дождя. Если летом реакция организма человека на резкий перепад температур была смещена в верхнюю зону регуляции [3] и могла приводить к адаптационному синдрому [4], то зимой при отключении электроэнергии и особенно системы отопления зданием реакция организма смещается в нижнюю зону регуляции с возможностью возникновения того же самого адаптационного синдрома.

В первом случае адаптационный синдром мог возникать из-за отсутствия систем охлаждения воздуха, т.е. в данном случае их отсутствие можно трактовать как экономию энергии. Не было систем охлаждения воздуха, следовательно, тогда и энергия на эти системы не была потрачена. Во втором случае обрывы на линиях электропередач привели к обесточиванию зданий, а в отдельных случаях и к отключению систем отопления зданий.

Таким образом, за период отсутствия энергии в зданиях мы получаем экономию энергии. Но такая экономия приводит к ответной реакции организма – адаптационному синдрому. Граничным случаем данных ситуаций будет смещением реакции организма человека в зоны или верхнего или нижнего пессимума, которое увеличивает среднестатистические данные летальных исходов [5].

Исходя из вышеизложенного и вместо вывода можно сформулировать вопрос: «Сколько человеческих жизней унесет каждый киловатт-час сэкономленной таким способом энергии?»

Наш интерес к данному вопросу заключается в том, что мы своими действиями можем искусственно смоделировать данную ситуацию в помещениях заказчика.

Например, если за основу взять Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», тогда в соответствии с данным законом требуется снижение удельных показателей энергоемкости к 2020 г. по сравнению с 2007 г. не менее чем на 40%; в течение последующих пяти лет снижение для учреждений объемов потребленных тепловой и электрической энергии не менее чем на 15% и т.п.

Закон требует конкретного снижения потребления энергии за определенное время, но не говорит, какими конкретными мерами можно достичь данного результата.

Ранее мы пришли к выводу [6], что такие понятия как экономия энергии и энергосбережение различны, и действия по реализации программ экономии энергии и энергосбережения различаются.

Таким образом, мы столкнулись с двумя определениями. От того, что мы выберем, энергосбережение или экономию энергии, будут зависеть наши дальнейшие действия и конечный результат. Например, для экономии энергии мы должны выключить лампочку, а для того, чтобы выполнить требования к энергосбережению, мы должны заменить эту лампу накаливания на энергосберегающую, но так, чтобы интенсивность освещения не изменилась, а понизилось только энергопотребление. В первом случае мы вносим изменения в начальные данные экосистемы «здание», а во втором случае не вносим. В первом случае

будет наблюдаться та или иная реакция этой экосистемы на изменение начальных данных, а во втором такой реакции не будет.

Дополним определения экономии энергии и энергосбережения следующей формулировкой:

1. Экономия энергии – понятие, связанное с эксплуатацией. Это рациональное, с точки зрения материальных затрат, использование имеющегося ресурса – в нашем случае вентиляционной системы. Экономия не должна приводить к отклонениям в требуемых параметрах микроклимата.

2. Энергосбережение – понятие, связанное с самой системой и ее созданием, конструированием. Энергосберегающая система должна обеспечивать оптимальное (минимальное) энергопотребление, необходимое для достижения требуемых параметров микроклимата.

Оба понятия преследуют одну и ту же цель, но имеют разные сферы действия. Ни одно из этих понятий, при правильном толковании, не допускает ухудшения параметров микроклимата.

К экономии энергии отнесем действия по устранению неоправданных потерь на внешних и внутренних инженерных сетях, утепление ограждающих конструкций и т.д.

К действиям по энергосбережению отнесем действия по созданию искусственной среды обитания человека. Тогда климатизацию зданий мы можем определить как подсистему системы «здание».

Такое определение дает нам возможность рассматривать модель биосферы, ограниченной стенами здания.

В начале XIX в. К. Гаусс установил, что сумма независимых, одинаково распределенных случайных величин подчиняется вполне определенному закону [7]. Соответствующая ему кривая, получающаяся после нормировки, показана на рис. 1. Видно, что она очень быстро убывает, большие отклонения, в соответствии с этим законом, очень редки. Настолько редки, что ими можно пренебречь.

Известно [7], что гауссово распределение лежит в основе множества инженерных расчетов и технических норм. Все инженеры знают «правило трех сигм». Это правило говорит о том, что вероятность отклонения случайной величины от среднего значения более чем на три «сигмы», составляет менее 0.001 (см. рис. 1). «Сигма» здесь – среднеквадратичное отклонение.

Но есть и другой класс законов, которые называют степенными (см. рис. 1). «Хвост» этого распределения убывает гораздо медленнее, поэтому такие законы часто называют «распределениями с тяжелыми хвостами». В этом случае большими отклонениями пренебречь нельзя.

Переносим эти данные на нашу модель.

Пусть потери энергии на элементах инженерных сетей являются случайными величинами, тогда, если собрать данные по потерям на этих сетях по всей территории России, то сумма независимых, одинаково распределенных случайных величин (потери энергии на элементах сетей) будут соответствовать нормальному распределению Гаусса. При невысоком износе сетей потерями энергии при авариях мы можем пренебречь.

Отсюда вытекают и наши действия. Очевидно, что устранять потери энергии мы будем на тех элементах сетей, где наблюдаются максимальные потери [8, 9, 10]. Это и дешевле, и экономический эффект выше. После этого будем рассматривать те потери, которые идут следом за максимальными и т.д.

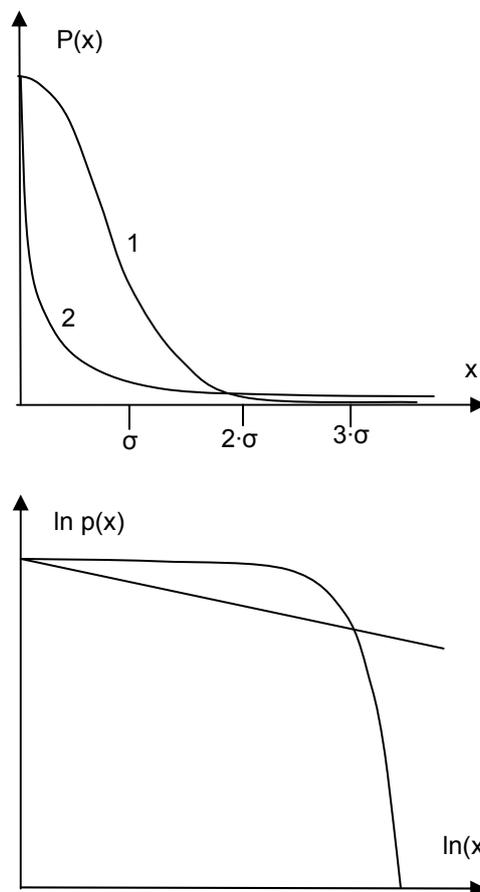


Рисунок 1. Типичный вид нормального (1) и степенного (2) распределения.

В соответствии с нормальным, гауссовым, распределением большие отклонения настолько редки, что ими можно пренебречь. Однако многие бедствия, аварии, катастрофы порождают статистику со степенным распределением, которое убывает медленнее, чем нормальное распределение, поэтому катастрофическими событиями пренебречь нельзя.

В логарифмическом масштабе (внизу) степенные зависимости приобретают вид прямых линий

Остановимся только тогда, когда потери энергии будут столь малы, а затраты на их устранение столь велики, что этими потерями экономически выгодно будет пренебречь. Таким образом, наши действия можно отнести к экономии энергии, и они никоим образом не повлияют на функционирование экосистемы «здание».

Следовательно, в данном случае мы можем пользоваться распределением Гаусса.

Предположим, что на эксплуатацию сетей выделяется недостаточно финансовых средств. И связано это с тем, что экономисты решили улучшить экономические показатели предприятия или учреждения. Тогда перед сотрудниками этого предприятия или учреждения будет поставлена задача жесточайшей экономии (аналогично закону № 261-ФЗ). В первую очередь действия по экономии будут связаны со снижением эксплуатационных затрат. Снижение эксплуатационных затрат приводит к ускоренному износу сетей и, как следствие, к увеличению аварийных ситуаций, которые в свою очередь связаны с потерями энергии. При увеличении количества аварийных ситуаций потери энергии могут достичь такого уровня, что ими пренебрегать уже будет нельзя. При износе инженерных сетей выше 80% высока вероятность того, что одна из очередных аварий приведет к краху всей сети, что может привести к напряжению социальной сферы.

Совершенно к другим результатам приведут наши манипуляции с энергией в экосистеме «здание». Там мы сталкиваемся со степенным распределением. Для этого определим, что возникновение адаптационного синдрома для организма человека – это уже почти катастрофа.

Откуда берется степенная статистика? Ученые отмечают [7], что ответ на этот вопрос дает новая парадигма нелинейной динамики – парадигма сложности и построенная в ее рамках теория самоорганизованной критичности.

Степенные зависимости характерны для многих сложных систем – разломов земной коры (знаменитый закон Рихтера-Гутенберга), фондовых рынков, биосферы во время эволюции. Они типичны для движения по автобанам, трафика через компьютерные сети, для многих других систем. Для всех них общим является возникновение длинных причинно-следственных связей. Одно событие может повлечь другое, третье, лавину изменений, затрагивающих всю систему. Например, мутация, с течением времени меняющая облик биологического вида, влияет на его экологическую нишу. Изменение экологической ниши этого вида, естественно, сказывается на экологических нишах других видов. Им приходится приспосабливаться. Окончание «лавины изменений» – переход к новому состоянию равновесия – может произойти нескоро.

Простейшая физическая модель, демонстрирующая такое поведение, – это куча песка. Представим следующую картину. Мы бросаем песчинку на самый верх кучи песка. Она либо останется на ней, либо скатится вниз, вызывая лавину. В лавине может быть одна или две песчинки, а может быть много. Статистика для кучи песка оказывается степенной, как для ряда бедствий и катастроф. Она очень похожа на ту статистику, которую мы имеем, скажем, для землетрясений, то есть опасность находится на грани между детерминированным и вероятностным поведением или, как сейчас говорят, на кромке хаоса.

Исследование сложных систем, демонстрирующих самоорганизованную критичность, показало, что такие системы сами по себе стремятся к критическому состоянию, в котором возможны лавины любых масштабов. Поскольку к системам такого сорта относится биосфера, общество, инфраструктуры различного типа, военно-промышленный комплекс, множество других иерархических систем, результаты теории самоорганизованной критичности очень важны для анализа управляющих воздействий, разработки методов защиты и разрушения.

Проявление степенной зависимости можно продемонстрировать на экспериментальных данных.

Новые выводы были опубликованы в журнале *Chemical Research in Toxicology*. В нем говорится, что если человек курит даже несколько минут, в его организме образуются вещества, нарушающие генетику и способствующие возникновению раковых опухолей.

Американские ученые выяснили, что сигарета пагубно влияет на человеческий организм с первой же затяжки. Раньше эксперты считали по-другому: для того чтобы нанести непоправимый вред здоровью, нужно курить в течение нескольких лет.

Ученые провели эксперимент на 12 добровольцах. В их крови проверили содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые разрушают ДНК. Оказалось, что их уровень в крови может зашкалить уже через 15 – 30 минут после выкуренной сигареты.

В нелинейной динамике про систему, которая ведет себя по закону степенного распределения, говорят, что «малые причины могут иметь большие последствия». Математики называют это свойство чувствительностью к начальным данным.

Существенной принципиальной разницы нет, чем дышит человек: табачным дымом или загрязненным воздухом (например, соединениями тяжелых металлов). В том и другом случае в организм попадают различные химические соединения определенной концентрации, а в организме из них могут образовываться третьи соединения, канцерогенные для него.

Одним из способов управлять процессом образования химических соединений в организме человека является управление воздухообменом, в основе которого лежит закон разбавления.

Для анализа воспользуемся зависимостью, которую мы получили ранее из уравнения материального баланса при решении задачи разбавления. Это зависимость минимального количества энергии, необходимого на нагрев наружного воздуха, от коэффициента опасности воздействия вещества [11]:

$$Q_{\min} = c_p \cdot \rho_n \cdot (T_{\text{пом}} - T_{\text{атм}}) \cdot V_{\text{пом}} \cdot \ln[(HQ_0 - HQ_{\text{атм}})/(HQ_n - HQ_{\text{атм}})], \quad (1)$$

где c_p – теплоемкость воздуха, $c_p=1,005$ кДж/кг·°С;

ρ_n – плотность наружного воздуха при расчетных температурах, кг/м³;

$T_{\text{атм}}$ и $T_{\text{пом}}$ – значение температуры наружного (атмосферного) воздуха и температуры воздуха в помещении;

$V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м³;

HQ_0 – начальное значение коэффициента опасности воздействия i -го вещества в помещении;

$HQ_{\text{атм}}$ – значение коэффициента опасности воздействия i -го вещества в атмосферном воздухе.

При ингаляционном поступлении расчет коэффициента опасности может осуществляться по формуле [12]:

$$HQ_i = C_i / RfC, \quad (2)$$

где HQ – коэффициент опасности воздействия вещества i ;

C_i – уровень воздействия вещества i , мг/м³;

RfC – безопасный уровень воздействия, мг/м³.

Для решения нашей задачи выражение (2) можно представить как:

$$HQ_i = Ch_i / C_{\text{ПДК}}, \quad (3)$$

где Ch_i – концентрация i -го вещества в воздухе помещения, мг/м³,

$C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация i -го вещества в воздухе помещения, мг/м³.

Тогда окончанием процесса разбавления будем считать состояние, при котором будет выполняться условие:

$$HQ_n = Ch_n / C_{\text{ПДК}} = 1. \quad (4)$$

Пусть нам будет поставлена цель снизить эксплуатационные затраты на климатизацию зданий за счет экономии энергии.

Для экономии энергии мы должны снизить воздухообмен, что в свое время и предлагалось сделать в журнале АВОК №2 за 2010 год в статье В.И. Ливчака [13]: «Жители, предпочитающие более высокую температуру воздуха, могут пойти на некоторое снижение воздухообмена – чтобы повысить температуру воздуха на 2°С, надо снизить теплопотери, как будет показано далее, на 4,5%. Учитывая, что расход тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха составляет примерно половину от расчетных теплопотерь, надо сокращать воздухообмен на $4,5 \cdot 2 = 9\%$ или менее чем на 3 м³/ч из расчетных 30 м³/ч на жителя».

Вот этими рекомендациями мы и воспользуемся. Кроме этого учтем, что при несущественном различии в расходе наружного воздуха (10%) может иметь принципиальное значение переход через граничное значение – он определит запуск негативного процесса в организме (например, процесс кальцификации [14]). Другими словами, организм относится к сложным системам, по этой причине мы и отнесли концентрацию химических соединений в воздухе помещения, которые задаются воздухообменом, к чувствительным начальным данным, т.е. учли, что «малые причины могут иметь большие последствия». Для этого в выражении (1) мы должны поменять местами аргумент и функцию, т.е. преобразовать это выражение. После преобразований мы получаем:

$$HQ_n = HQ_{\text{атм}} + (HQ_0 - HQ_{\text{атм}}) \cdot e^{-Q_{\min} / [c_p \cdot \rho_n \cdot V_{\text{пом}} \cdot (T_{\text{пом}} - T_{\text{атм}})]} \quad (5)$$

В соответствии с рекомендациями мы должны сэкономить энергии на величину ΔQ :

$$Q + \Delta Q = Q_{\min}, \quad (6)$$

т.е. обеспечить подачу энергии на нагрев наружного воздуха не Q_{\min} , а Q :

$$Q = Q_{\min} - \Delta Q. \quad (6)$$

Следовательно, наши действия приведут к тому, что в помещении коэффициент опасности воздействия вещества будет $HQ_n > 1$.

Для того чтобы привести коэффициент опасности воздействия вещества к норме $HQ_n = 1$, мы будем вынуждены вентилировать помещение приточным воздухом с температурой наружного воздуха, т.е. без нагрева, что приведет к прекращению вентилирования помещения вообще. Например, при использовании естественной вентиляции и при установленных герметичных стеклопакетах, пользователь, открыв форточку на приток воздуха, обязательно ее закроет, как только выберет энергию Q , т.к. после этого температура в помещении будет понижаться и возникнет ощущение сквозняка.

Далее воспользуемся экспериментальными данными по табачному дыму.

Пусть помещение загрязнено табачным дымом [15]. Пусть при расходе наружного воздуха $L_1 = 30 \text{ м}^3/\text{час}$ на чел. при обеспечении системы вентиляции энергией в объеме Q_{\min} и $HQ_n \geq 1$ время экспозиции не превышает $t_1 \leq 15$ мин. Но уже при $L_2 = 27 \text{ м}^3/\text{час}$ на чел. при обеспечении системы вентиляции энергией в объеме Q и $HQ_n \geq 1$ время экспозиции составит $t_2 > t_1$ (рис. 2).

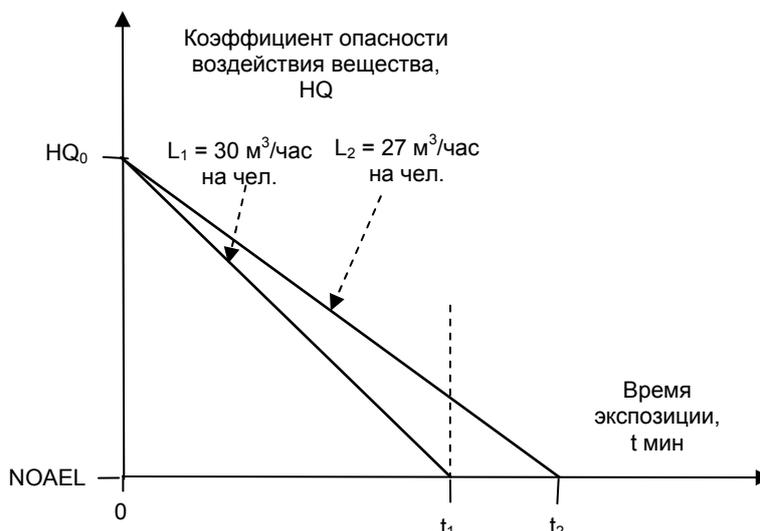


Рисунок 2. Зависимость коэффициента опасности воздействия вещества от времени экспозиции при различных расходах наружного воздуха. Источник загрязнения в помещении отсутствует

Таким образом, экономия энергии на нагрев наружного воздуха приводит к снижению воздухообмена, к увеличению времени экспозиции при $HQ_n > 1$ и, как следствие этого, риск нанести непоправимый вред здоровью может возрасти с минимального до максимального вплоть до летального исхода.

Итак, мы получили, что малые причины могут иметь большие последствия.

Предвидя возражения оппонентов, отметим, что именно такая реакция организма на разность в расходе наружного воздуха в $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека не доказана. Но не доказано и обратное.

Между тем есть надежда, что в ближайшие 2-3 года будут получены дополнительные экспериментальные данные, а лет через 5 будут сформулированы новые стандарты.

Европейский офис Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) выпустил набор рекомендаций по качеству внутренней среды. Эти рекомендации по специфическим загрязнителям внутренних пространств могут стать основой для разработки легитимных норм по всему миру.

Отсюда можно сделать важный вывод, что существующие нормы по качеству внутренней среды не легитимны. Следовательно, проектировщик уже не может сказать, что проект, который соответствует нормативной базе, обеспечивает качество воздуха в помещении.

Там же отмечается, что осведомленность об этих проблемах (влияние загрязняющих веществ на появление различных заболеваний) все еще остается на низком уровне, и дальнейшие исследования будут проведены в ближайшее время.

Гошка Л.Л. Системный подход к энергосбережению в инженерных сетях зданий

Тем не менее, пока новых стандартов не существует, индустрия климата работает по прежним принципам. В то же время, создавать индустрию климата (в противовес продаже климатического оборудования) необходимо уже сейчас, чтобы к моменту появления новых норм существовало достаточно специалистов по проблеме, владеющих системным анализом, которых на сегодняшний день нет. Нет также прикладной науки, которая способна была бы создать реальные программы энергосбережения.

Проблемы современности, такие как необходимость энергосбережения, требуют глобальных изменений во многих отраслях науки. Так, эксперты журнала «Nature» указывают на необходимость срочной реорганизации химии как науки – иначе химия не сможет ответить вызовам современности.

Ученые опасаются, что классическая химическая наука спасует перед вызовами современности, если не произойдет ее значительной модернизации. Перед современной химией стоит ряд важных научных и технических задач, лежащих в плоскости глобальных комплексных проблем: энергосбережение, сохранение экологических систем, обеспечение людей питанием и водой, изучение точных молекулярных механизмов возникновения болезней.

В связи с тем, что таких глобальных изменений в нашей прикладной науке пока не произошло, в течение следующих пяти лет необходимо заняться только экономией энергии, устраняя неоправданные потери энергии в инженерных сетях. Одновременно с этим готовить специалистов по проблеме. И только при сформулированных новых стандартах приступить к реализации программы энергосбережения.

Пока же, напротив, активно предлагаются непродуманные программы энергосбережения. Так, например, читаем обоснование рекомендации представителя экспертного сообщества В.И. Ливчака:

«Это будет совсем незаметно для человека (разница в воздухообмене на 3 м³/ч на чел.), тем более что, например, в Германии, далеко не бедной стране, расчетный воздухообмен в квартирах при расчете нагрузки системы отопления в капитально ремонтируемых домах рекомендуется принимать исходя из 20 м³/ч на жителя».

К той же категории относятся рекомендации специалистов, что утепление ограждающих конструкций при сохранении нормируемого воздухообмена в помещении и использовании естественной вентиляции приводит к экономическому эффекту за счет энергосбережения.

Литература:

1. Малинецкий Г. Г. Проектирование будущего и модернизация России // Дружба народов. 2010. №9. С. 167-187.
2. Васильев Г. П., Тимофеев Н. А., Бурмистров А. А. Источник вторичных энергоресурсов – вентиляционные выбросы квартир // Энергосбережение. 2010. №4. С. 14-17.
3. Салтыков А. В. Биоэкология: Учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2000. 88 с.
4. Инфекционный процесс / Н. П. Чеснокова и др. М. : Академия естествознания, 2006. 280 с.
5. Квасничкова Д., Калина В. Схемы по экологии и методическая разработка к ним. М. : Устойчивый мир, 2001. 198 с.
6. Гошка Л.Л. Системный анализ и климатизация зданий // С.О.К. 2011. №1. С. 93-99.
7. Малинецкий Г. Г., Курдюмов С. П. Нелинейная динамика и проблемы прогноза // Вестник Российской академии наук. 2001. Том 71, №3. С. 210-232.
8. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1(11). С. 9-13.
9. Самарин О. Д. Влияние ориентации остекленных фасадов на суммарное энергопотребление жилых зданий / О. Д. Самарин, Н. Н. Зайцев // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8(18). С. 16-20.
10. Энергосберегающие решения в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2010. №6(16). С. 2-3.
11. Гошка Л. Л. Энергосбережение и эффективность климатических систем // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 14-22.
12. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004.
13. Ливчак В. И. О расчете систем отопления, энергосбережении и температуре воздуха в отапливаемых помещениях жилого дома // АВОК. 2010. №2. С.10-14.
14. Schaefer K. E. Effect of increased ambient CO₂ levels on human and animals. *Experientia*, 1982, o. 38.

**Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар, Россия*

Тел. раб.: +7 (8212) 29-10-24; эл. почта: tookola@mail.ru