

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ТЕПЛОПТЕРИ ЗДАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Ю. В. Каперейко

Стажер младшего научного сотрудника, БрГТУ, Брест, Беларусь,
yulya.kapereyko@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлены результаты по исследованию влияния различных факторов на теплопотери здания и возможностей их учета при проектировании и эксплуатации систем отопления. К таким факторам относится воздействие ветра, осадков, солнечной радиации и т.д. Также предложена концепция метеопрогностического регулирования для достижения более экономичного энергопотребления.

Ключевые слова: система водяного отопления, метеопрогностическое регулирование, микроклимат помещений.

THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS OF INFLUENCE ON THE HEAT LOSS OF BUILDINGS IN THE DESIGN AND USING OF WATER HEATING SYSTEMS

Y. Kapereyko

Abstract

This article presents the results of a study of the influence of various factors on the heat loss of a building and the possibilities of taking them into account when designing and operating heating systems. Such factors include the effects of wind, precipitation, solar radiation, etc. The article proposes the concept of weather forecasting control to achieve more economical energy consumption.

Keywords: water heating system, weather forecasting control, indoor microclimate.

Введение. В последние десятилетия развития способов проектирования различных инженерных систем ярко выражается необходимость рационализации процессов управления этими системами для установления экономически и энергетически обоснованных режимов работы.

В современных решениях погодозависимого управления параметрами систем водяного отопления реализован принцип использования фактической информации, получаемой напрямую со стороны датчиков наружной температуры. Однако существуют и другие факторы, которые влияют на теплопотребление зданием энергии, причем эти факторы не учитываются ввиду их малой значимости и непостоянства воздействия. Это подтверждается при рассмотрении методик

расчета теплотеря зданием. Однако, для достижения экономичности использования энергоресурсов следует учитывать и другие факторы влияния. Целью исследования является изучение возможностей учета различных факторов влияния для энергоэффективного потребления, а также целесообразности применения полученных результатов.

Материалы и методы. Методологическая основа исследования в рамках этапа состояла из сбора данных, комплексного анализа и системного подхода в рамках метеопрогностической детерминации предиктивного управления системой отопления. Исследование проводилось посредством расчетов и моделирования на примере модели здания.

Результаты и обсуждение. В пределах отопительного сезона колебания температуры наружного воздуха играют весомую роль в области эффективного теплотребления. Однако стоит учесть, что помимо температуры наружного воздуха, существует другое множество факторов, которые влияют на микроклимат помещений. К внешним факторам относятся: скорость и направление ветра; увлажнение поверхностей, ограждающих конструкции из-за осадков разного агрегатного состояния; облачность и интенсивность прямой и рассеянной радиации; барометрическое давление; влажность воздуха. К внутренним факторам можно отнести условия протекания технологического процесса внутри здания: теплоступления от людей, от солнечной радиации, от бытовых приборов, от электроосвещения, теплотери при эксфильтрации внутреннего воздуха, при осуществлении вентилирования помещения.

Многие из этих факторов являются непостоянными, появление того или иного значения параметров обусловлено большим числом факторов и носит случайный характер. Поэтому для обобщения метеорологических и иных элементов или параметров используются положения теории вероятностей и методы математической статистики. Однако некоторые из вышеперечисленных факторов можно использовать в расчётах для отражения более приближенной к реальности картины теплообменных процессов ограждающих конструкций. С помощью детальных вычислений можно сформулировать зависимости для поддержания комфортных параметров микроклимата в помещениях зданий, учитывая все факторы воздействия на тепловые потери, тем самым обеспечить наиболее точную оценку эффективности применяемых методов регулирования систем водяного отопления.

Изменение температуры является основным фактором при регуляции по нему параметров системы отопления. Применение погодозависимой автоматики приблизило параметры микроклимата помещений к наиболее комфортным, системы отопления стали более инерционными. Однако этот метод регулирования характеризуется таким понятием как гистерезис элементов системы отопления, т. е. временем, за которое система достигнет требуемого состояния по заданным кри-

териям. Запаздывание системы может составлять трудности в создании комфортного микроклимата в помещениях зданий при динамично изменяющихся наружных параметрах климата.

Воздействие ветра обуславливается активным движением воздушных масс на поверхности ограждающих конструкций, что усиливает конвекцию и перенос тепла. Этот процесс описывается изменением коэффициента теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, который можно вычислить с помощью уже известных формул [1].

Влияние влажности на режим эксплуатации зданий является сложно оценимым фактором. Диффузия водяного пара наиболее существенна в холодное время года, т. е. в отопительный период, а влажностный режим ограждений оказывает существенное влияние на теплозащитные характеристики. Установить общую математическую зависимость между теплопроводностью материала и его влажностью, одинаковую для всех строительных материалов, не представляется возможным, так как значительное влияние оказывают структура, форма и расположение пор материала, химико-минералогический состав, поэтому в расчетах используют данные лабораторных испытаний для двух условий эксплуатации (так называемые А и Б). В настоящее время отсутствует нормативный документ по методу определения зависимости коэффициента теплопроводности от влажности конструкций. Исследования сводятся к выявлению эмпирических зависимостей теплопроводности материалов от их влажности [2]. Однако применение этих данных затруднено ввиду громоздкости вычислений.

Наружные ограждения по-разному передают тепловые потоки от коротковолновой солнечной радиации. В массивных ограждениях происходит поглощение тепла солнечной радиации поверхностью. Нагретая поверхность возвращает частично тепло в наружную среду, а частично передает через толщу ограждения внутрь помещения. Поступление солнечной радиации через заполнения световых проемов определяется по методике, изложенной в [3]. Часть теплоты, которая аккумулируется ограждающими конструкциями, также является важным слагаемым при вычислении общих тепловых потерь здания и может быть определена с помощью известных формул [3, раздел 2.1.3], а также с помощью других материалов [1, разделы 5.2–5.3].

Таким образом, факторы влияния на микроклимат помещения можно учесть, но некоторые из них будут являться лишь приближенной к реальности величиной.

Согласно СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4] тепловые потери через ограждающие конструкции рассчитываются с использованием сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, расчетной температуры воздуха в помещении и расчетной температуры наружного воздуха. Условия теплообмена на наружной поверхности ограждений здания не являются определяющими во многих случаях и прежде всего при расчете тепловых потоков, проходящих через ограждения. С помощью дополнительных вводных коэффициентов (добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции в долях от основных потерь) значение теплотерь корректируется и является укрупненным показателем.

Однако при эксплуатации системы отопления тепловые потери могут составлять большие или меньшие значения, чем вычисленные по установленной методике расчета. Все это влияет на потребление зданиями тепловой энергии и может привести к её перерасходу. Эксплуатационные условия должны по возможности отражать близкое к реальному изменение параметров наружного климата во времени года. Именно год является основным временным элементом, в рамках которого проявляются систематические режимы функционирования здания. В данной работе в качестве временного параметра будет использоваться отопительный период.

В целях энергосбережения предложена концепция метеопрогностического регулирования. Она заключается в использовании информации о погодных условиях не через внешние температурные датчики (так называемая погодозависимая автоматика), а при помощи прогнозных метеоданных, получаемых непосредственно для конкретной географической точки расположения здания через определенный промежуток времени.

Расчеты по влиянию ветровой нагрузки на тепловые потери помещения включают в себя: учет наветренной, подветренной и боковой сторон здания по отношению к текущему направлению ветра; изменение скорости ветра на разных высотах по отношению к зданию (1 и 2 этаж); совместное действие ветровой нагрузки и изменяющейся температуры на тепловые характеристики ограждающих конструкций. Для расчета была принята модель индивидуального двухэтажного жилого дома (рисунок 1, рисунок 2). Массив данных (фрагмент представлен на рисунке 3) по расчету данных характеристик составил основание для построения графика зависимости влияния ветра на теплопотери здания в сравнении со стандартным расчетом без учета данного фактора влияния (рисунок 4). За основу были взяты метеорологические данные за отопительный период 15.10.2021–15.04.2022 [5]. Сбор метеоданных осуществлялся в рамках следующих географических координат (г. Брест, Республика Беларусь): 52.083354, 23.772257. Таким образом, обеспечивается календарная полнота охвата отопительного периода.

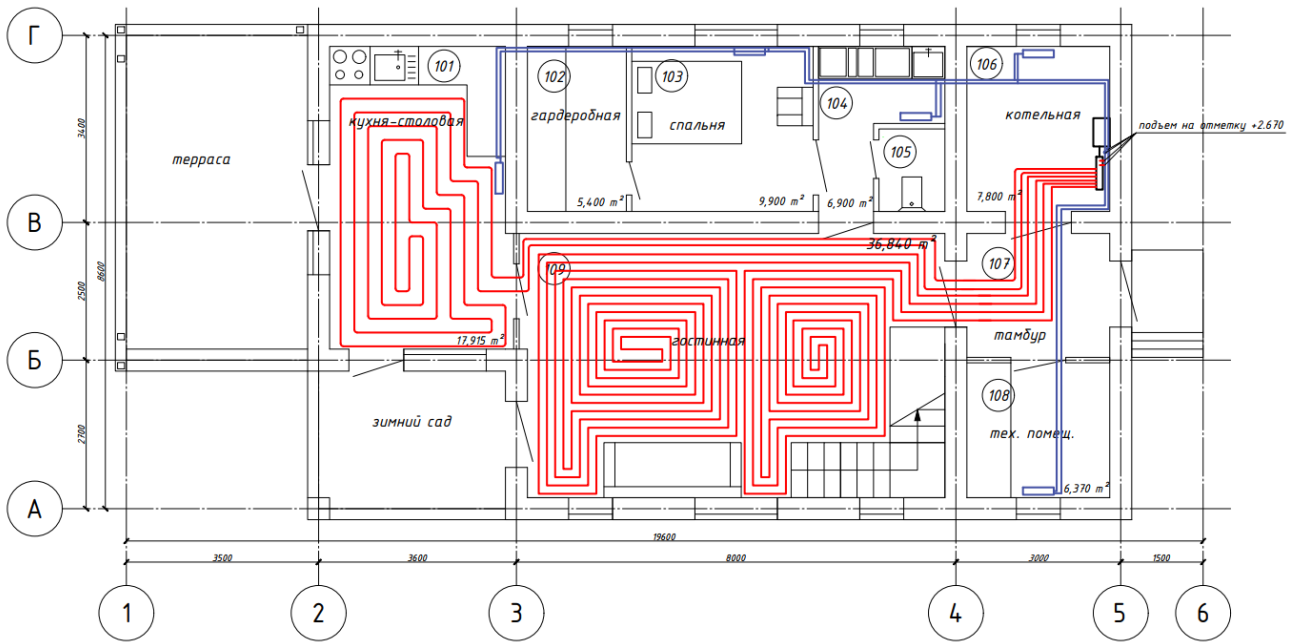


Рисунок 1 – План первого этажа индивидуального жилого дома с нанесением элементов запроектированной системы водяного отопления

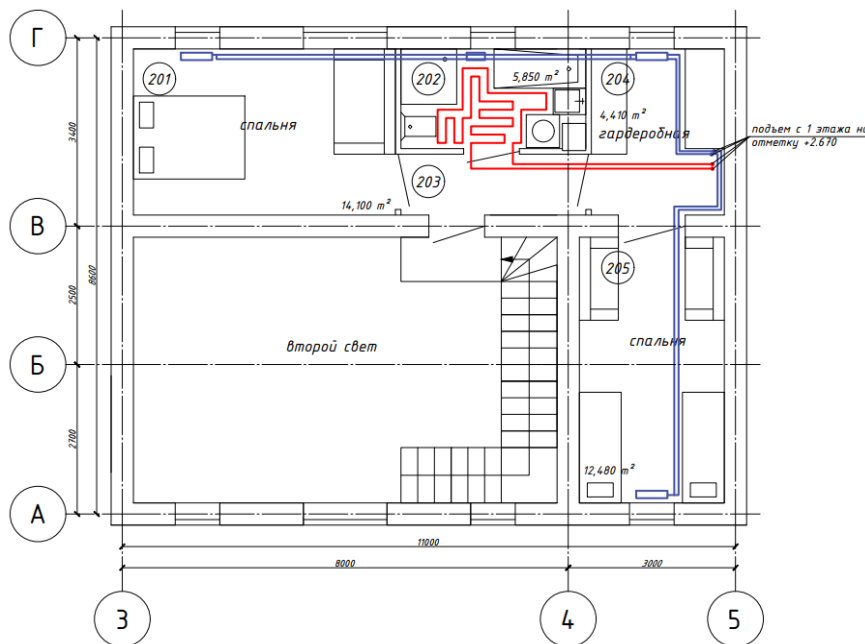


Рисунок 2 – План второго этажа индивидуального жилого дома с нанесением элементов запроектированной системы водяного отопления

Дата сбора метеорологических данных			Метеорологические данные		Преобразованные методические данные		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа n		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа m		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа k		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа l		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа p		Коэффициент теплопотери наружной поверхности стены этажа q		Коэффициент теплопотери наружной поверхности фронтона		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (наружной стены 1 этажа) $K_1(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (наружной стены 1 этажа) $K_1(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (наружной стены 2 этажа) $K_2(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (наружной стены 2 этажа) $K_2(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (бalkонной стены 1 этажа) $K_3(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (наружной стены 2 этажа) $K_2(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (ограды 1 этажа) $K_4(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (ограды 2 этажа) $K_5(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		Сопроствление теплопотери ограждающей конструкции (двери) $K_6(B_n, \theta_{\text{вн}}^{\text{вн}})$		
00:00	ЮЗ	3	8.1	0	ЮЗ	0.4	1.51	2.18	2.43	30.74	33.51	33.89	31.51	35.22	35.73	33.92	3.189948	3.186360	3.186027	3.188262	3.184915	5.986001																	
03:00	ЮЗ	2	7.3	0	ЮЗ	0.5	0.85	1.34	1.54	29.92	31.67	31.91	30.54	33.07	33.41	32.92	3.189945	3.187862	3.189261	3.186763	3.186451	5.986896	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
06:00	ЮЗ	3	7.8	0	ЮЗ	0.4	1.51	2.18	2.43	30.75	33.52	33.90	31.51	35.22	35.73	33.92	3.189947	3.186357	3.186024	3.188260	3.184912	5.985999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
09:00	ЮЗ	3	9.6	0	ЮЗ	0.4	1.51	2.18	2.43	30.74	33.50	33.88	31.50	35.20	35.71	33.91	3.189956	3.186374	3.186041	3.188271	3.184931	5.986009	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
12:00	ЮЗ	4	12.7	0	ЮЗ	0.35	2.19	3.02	3.33	31.49	35.19	35.70	32.37	37.15	37.80	34.82	3.188274	3.184936	3.184533	3.187417	3.183440	5.985243	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
15:00	ЮЗ	3	13.3	0	ЮЗ	0.4	1.51	2.18	2.43	30.72	33.46	33.84	31.47	35.15	35.65	33.89	3.189073	3.186407	3.186076	3.188294	3.184972	5.986031	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
18:00	ЮЗ	2	12.0	0	ЮЗ	0.5	0.85	1.34	1.54	29.91	31.64	31.88	30.53	33.02	33.37	32.90	3.189960	3.188129	3.187894	3.189282	3.186803	5.986916	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
21:00	ЮЗ	2	11.2	0	ЮЗ	0.5	0.85	1.34	1.54	29.91	31.64	31.88	30.53	33.03	33.37	32.90	3.189957	3.188124	3.187889	3.189278	3.186796	5.986912	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
00:00	ЮЗ	2	10.5	0	ЮЗ	0.5	0.85	1.34	1.54	29.91	31.65	31.89	30.53	33.04	33.38	32.91	3.189955	3.188119	3.187884	3.189275	3.186790	5.986909	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
03:00	З	4	9.1	0	З	0.35	2.19	3.02	3.33	31.52	35.24	35.75	32.40	37.21	37.87	34.85	3.188251	3.184896	3.184492	3.187390	3.183394	5.985218	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
06:00	З	2	8.6	0	З	0.5	0.85	1.34	1.54	29.92	31.66	31.90	30.54	33.06	33.40	32.92	3.189949	3.188107	3.187871	3.189266	3.186774	5.986901	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
09:00	З	3	10.2	0	З	0.4	1.51	2.18	2.43	30.73	33.49	33.87	31.49	35.19	35.70	33.91	3.189058	3.186379	3.186047	3.188275	3.184938	5.986013	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12:00	З	3	11.2	0	З	0.4	1.51	2.18	2.43	30.73	33.48	33.86	31.49	35.18	35.68	33.90	3.189063	3.186388	3.186056	3.188281	3.184949	5.986019	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
15:00	З	2	10.6	0	З	0.5	0.85	1.34	1.54	29.91	31.65	31.88	30.53	33.04	33.38	32.91	3.189955	3.188120	3.187885	3.189275	3.186791	5.986910	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18:00	З	1	9.3	0	З	0.65	0.33	0.60	0.71	29.17	29.98	30.09	29.57	30.88	31.06	31.87	3.190089	3.189878	3.189754	3.190344	3.188907	5.987898	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Рисунок 3 – Фрагмент базы данных для расчета тепловых потерь здания

Мгновенные потери теплоты при сравнении расчетов с учетом действия ветра и без учета действия ветра на теплопотери здания практически не отличаются – максимальная разница между такими характеристиками составила 10,43 Вт. В течение отопительного периода с 15.10.2021 по 15.04.2022 здание теряет 21,8 кВт тепла под воздействием ветра.

Теплоотдача отопительного прибора должна зависеть от теплопотерь данного помещения в данный период времени.

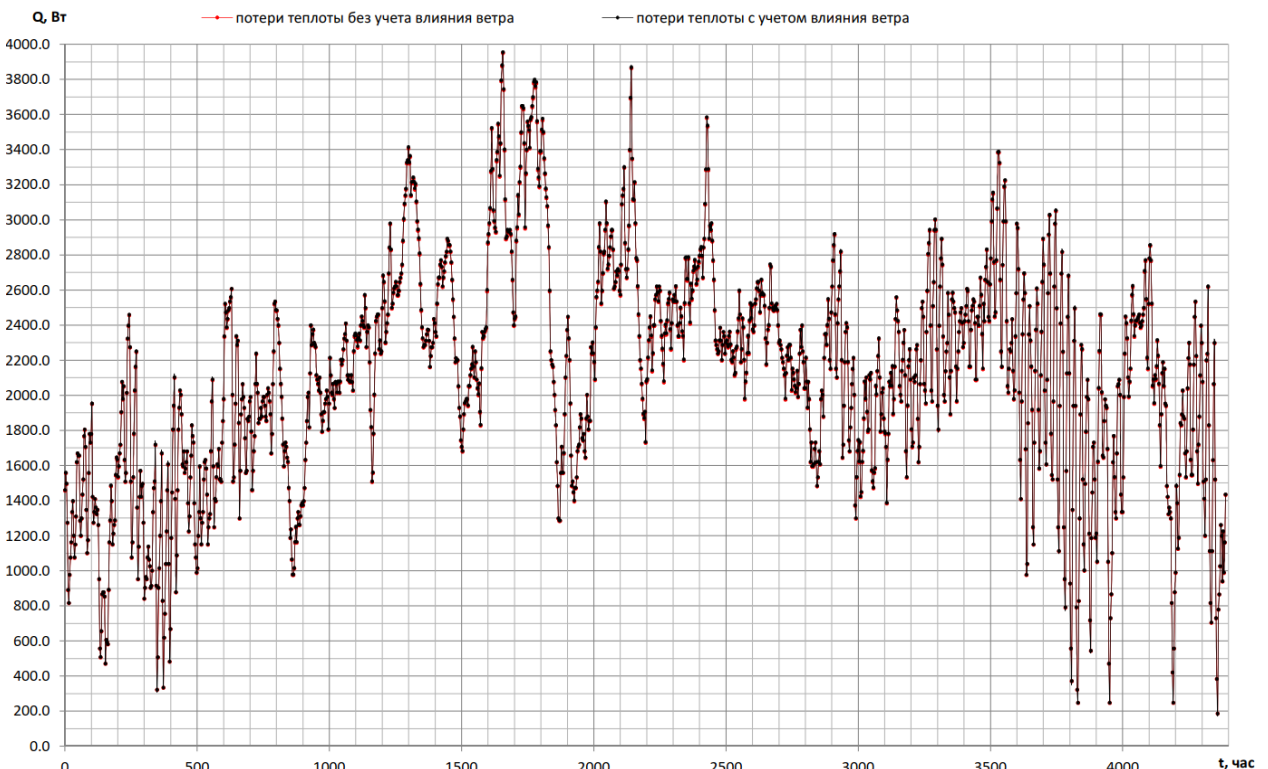


Рисунок 4 – График изменения потерь теплоты зданием с учетом ветрового воздействия и изменяющейся температуры и изменения потерь теплоты зданием без учета ветрового воздействия, но с учетом изменяющейся температуры

В соответствии с метеопрогностической концепцией необходимо заблаговременно определить предполагаемые теплотери помещения и предварительно установить необходимые температуру и расход через отопительный прибор. Для этого необходимо знать, через какое время Δt отопительный прибор перейдет с теплоотдачи Q_1 на теплоотдачу Q_2 .

Для моделирования ситуации симитируем конкретные условия задачи. Например, на начальный этап времени теплотери помещения 205 составляют $Q_1 = 101,4$ Вт. Спустя 3 часа тепловые потери помещения будут составлять $Q_2 = 108,2$ Вт. Какое время требуется отопительному прибору для изменения теплового потока с Q_1 на Q_2 ? Какие температуры в подающем и обратном трубопроводе должны быть, если расход остается неизменным $G = 34,17$ кг/ч. Поддерживаемая температура в помещении 20 °С. Какой расход необходимо установить на отопительный прибор если температуры в подающем и обратном трубопроводе останутся неизменными (80/60)?

Размеры установленного отопительного прибора: 7 секций, каждая мощностью $Q_{np} = 180,23$ Вт при температурном напоре 70 °С. Вес одной секции $1,49$ кг. Объем воды $0,37$ л.

Для вычисления изменившегося расхода необходимо использовать формулу

$$G = 0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где Q_{np} – тепловая нагрузка прибора, Вт;

G – расход теплоносителя, кг/ч;

β_1 и β_2 – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины и коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами у наружных ограждений соответственно;

t_1 и t_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе соответственно.

Таким образом получим:

$$G_1 = 0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,63 \text{ кг/ч},$$

$$G_2 = 0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,94 \text{ кг/ч}.$$

Для вычисления изменившейся температуры при постоянном расходе необходимо задаться минимальной температурой в обратном трубопроводе. Примем ее равной $t_2 = 35$ °С. Тогда температуру теплоносителя в подающем трубопроводе t_1 вычислим по формуле

$$t_1 = (0,86 Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2) / G + t_2 \quad . \quad (2)$$

Пусть t_1' и t_1'' – температуры теплоносителя подающего трубопровода при постоянном расходе с требуемой тепловой нагрузкой на отопительный прибор $101,4$ Вт и $108,2$ Вт соответственно.

$$t_1' = (0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,707 \text{ °С}$$

$$t_1'' = (0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,889 \text{ °С}.$$

Как видим, разница слишком мала, поэтому данный способ регулирования может подойти только вместе с корреляцией расхода и температуры, а не только температуры.

Таким образом, при изменяющемся расходе можно достичь комфортного регулирования параметрами системы водяного отопления. Однако ввиду наличия инерционности здания и системы отопления в целом можно принять, что время, которое необходимо системе для плавного регулирования, равняется трем часам, что приблизительно соответствует реальным значениям, известным из практики эксплуатации систем водяного отопления.

Тогда будем считать, что время запаздывания системы отопления со стандартной погодозависимой автоматикой составляет три часа (значение принято на основании известных из практики реальных значений при эксплуатации систем водяного отопления), а в концепции метеопрогностического регулирования это время сглажено и при идеальных условиях полностью компенсирует тепловые потери в текущий момент времени. Таким образом, можно построить график зависимости теплотерь от времени на основании предыдущих расчетов для той и другой ситуации.

Также стоит задаться среднестатистической погрешностью метеорологического прогноза для конкретной точки приложения в размере 4 %.

График зависимости влияния ветровой нагрузки на тепловые потери здания за отопительный период представлен на рисунке 4, график отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием параметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции представлены на рисунке 5. Красной линией представлен график отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании погодозависимой автоматикой, синей линией – график отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании по метеорологическому прогнозу (с учетом погрешности прогноза 4 %).

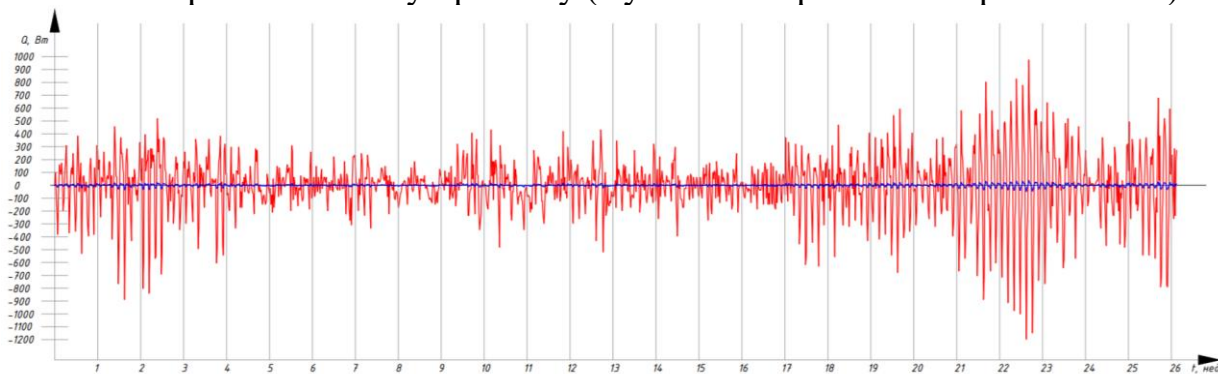


Рисунок 5 – График отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием параметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции

Как видим, отклонение от требуемой компенсации тепловых потерь при применении погодозависимой автоматики значительно выше, чем при использовании метеопрогностического подхода.

Для наиболее экономически и энергетически обоснованных режимов работы систем отопления необходимо создавать такие методы управления этими системами, которые бы учитывали воздействие ветра на тепловые потери зданий через ограждающие конструкции.

Заключение.

1. Учет влияния ветрового воздействия содействует более точному поддержанию комфортной температуры в помещениях зданий, а также является важным параметром при оценке эффективности применяемых методов регулирования систем водяного отопления. Системы водяного отопления постоянно модифицируются и совершенствуются, внедряется различное оборудование и арматура для более эффективных и удобных методов управления этими системами.

2. Удалось получить рабочее решение по нивелированию тепловой инерционности отопительной системы, тем самым увеличивая общую экономию топливных энергоресурсов без потери комфортных условий.

3. Также для конкретных условий применения данного подхода регулирования возможна разработка интеллектуальных программ, которые будут выполнять функцию контроля и управления, сравнения рассчитанных и действительных тепловых характеристик различных элементов системы отопления, внесения корректировки в текущие графики тепловой нагрузки и способы воздействия на тепловые параметры системы.

Список цитированных источников

1. Кувшинов, Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 320 с.
2. Куприянов, В. М. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса / В. Н. Куприянов, А. М. Юзмухаметов, И. Ш. Сафин // Известия КГАСУ. – 2017. – № 1. – С. 102–110
3. Хрусталёв, Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / Б. М. Хрусталёв. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 784 с.
4. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : Стройтехнорм, 2019. – 73 с.
5. Архив погоды в городе Бресте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>. Дата доступа: 16.04.2022.
6. Хрусталеv, Б. М. Тепло- и массообмен : учеб. пособие для вузов по строительным, энергетическим и машиностроительным специальностям : в 2 ч. / Б. М. Хрусталеv [и др.] ; под общ. ред. А. П. Несенчука. — Минск : БНТУ, 2007. – Ч. 1. – 607 с.
7. Сканави, А. Н. Отопление: учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 576 с.
8. Покотилоv, В. В. Системы водяного отопления. / В. В. Покотилоv. – Вена : 2008. – 159 с.
9. Семенов, Л. А. Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий. / Л. А. Семенов. – М. : Издательство Министерства строительства предприятий машиностроения, 1950 г. – 262 с.
10. Мешик, К. О. Увеличение энергетической эффективности работы СВО посредством применения метеоданных / К. О. Мешик ; науч. рук. Л. Н. Данилевский // Современные проблемы природопользования и природообустройства : сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвящённой 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 6–7 октября 2022 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 80.