

УДК 658

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРЕЗ ОЦЕНКУ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

© 2022 А.С. Клентак

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет), г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 10.08.2022

В статье рассматриваются способы повышения эффективности функционирования промышленных предприятий с помощью метода оценки потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции, выполненного на основании инструментального обследования, а также с использованием метода определения теплопотерь за весь отопительный период при невозможности провести расчет, основанный на инструментальном обследовании.

Ключевые слова: эффективность, промышленное предприятие, потери тепловой энергии, ограждающие конструкции, инструментальное обследование, отопительный период.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-124-130

ВВЕДЕНИЕ

С момента утверждения Федерального закона РФ № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» вопросам энергосбережения, экономики энергоресурсов и их рационального использования уделяется все больше внимания, в том числе на уровне крупных предприятий и производств [1].

Одним из самых простых и традиционных путей уменьшения потребления энергоресурсов на промышленном предприятии является снижение теплопотерь здания.

Требования к повышению тепловой защиты зданий и сооружений, основных потребителей энергии, являются важным объектом государственного регулирования. Эти требования рассматриваются также с точки зрения охраны окружающей среды, рационального использования невозобновляемых природных ресурсов и уменьшения влияния «парникового» эффекта и сокращения выделений двуоксида углерода и других вредных веществ в атмосферу [2,3].

Теплопотери в зданиях промышленных предприятий происходят, преимущественно, в виде дисперсии тепла наружными ограждениями, возникающей и усиливающейся при нарастании разницы температур внутреннего и наружного воздуха, а также в результате усиленной инфильтрации наружного (и соответственно, эксфильтрации внутреннего) воздуха под давлением ветра и вследствие возникновения

в застройке различных аэродинамических эффектов [4].

Для каждого здания существует своя характерная причина основных тепловых потерь в окружающую среду. Для панельных объектов преобладающими являются потери тепла через поверхность самих стеновых панелей и негерметичные межпанельные швы, для кирпичных домов в наибольшей степени характерны потери тепла через окна, двери и через так называемые «мостики холода» перекрытий – элементы строительных конструкций, имеющие высокую теплопроводность [5].

В местах образования «мостиков холода» температура поверхности ограждающей конструкции здания в холодное время года становится ниже температуры «точки росы», что приводит к конденсации содержащихся в воздухе водяных паров. Данный процесс оказывает разрушающее воздействие на конструкционный материал стен и является причиной возникновения в помещениях сырости и плесени.

Наиболее проблемными с точки зрения величины тепловых потерь являются стены (фасады) зданий, поскольку их площадь многократно превышает площадь других ограждающих конструкций, через которые возможны потери тепла.

Кровля по теплофизическим показателям также является одним из наиболее проблемных элементов здания. Потери тепла зданием через его крышную конструкцию (кровлю, чердачное перекрытие) могут достигать 40% от их общего количества, в то же время характерные для Российской Федерации жесткие климатические условия требуют от кровельных материалов высокой теплоустойчивости летом, устойчивости к низким температурам зимой, к частым переходам через 0 °С и к ультрафиолетовому излучению [6].

Клентак Анна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей. E-mail: anna_klentak@mail.ru

Получение объективных данных об объеме потребляемых энергетических ресурсов, оценка эффективности их использования и потенциала энергосбережения возможны при проведении энергетического обследования здания промышленного предприятия, результаты которого служат основой для разработки перечня мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Энергетическое обследование зданий промышленного предприятия представляет собой структурированный комплекс мероприятий, направленных на получение качественной экспертной информации об объемах, параметрах и условиях потребления объектами обследования ТЭР для последующей реализации мер по оптимизации их использования.

Проведение энергетического обследования фасада объекта с применением инструментально-расчетных методов позволяет выявить зоны с повышенными потерями тепла через фасад здания.

Состав работ по проведению энергетического обследования:

1. Проведение визуального обследования объекта, в ходе которого определяется техническое состояние ограждающих конструкций (фасада) здания.

2. Выполнение инструментального обследования (тепловизионной съемки) ограждающих конструкций здания с последующим оформлением протокола тепловизионного обследования.

3. Оценка сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания (определяется сопротивление теплопередаче и объем потерь тепла в окружающую среду).

4. Выработка предложений по составу приоритетных, выполняемых в ходе капитального ремонта мероприятий, направленных на уменьшение величины тепловых потерь через ограждающие конструкции здания.

В качестве примера обследуемых зданий были выбраны два корпуса промышленного предприятия: корпус №2 и корпуса №4.

Данные объекты энергетического обследования находятся в зоне умеренно-континентального климата, среднемесячная температура окружающего воздуха в течение отопительного периода 2020/2021 годов составила за октябрь: 6°C, за ноябрь: -1,5°C, за декабрь: -7,5°C; за январь: -10°C; за февраль: -8,5°C; среднемесячная скорость ветра в этот период – 4,6 м/с.

Оба здания были построены по типовым проектам и имеют одинаковые параметры.

Из Таблицы 1 можно заметить, что единственным различием между постройками является то, что корпус №4 имеет утеплитель – пенополистерол.

При проведении инструментального обследования было использовано современное оборудование, соответствующее нормативным требованиям [7]. Перечень оборудования приведен в таблице 2.

Примеры термограмм представлены на рисунках 1 и 2.

Значения точек измерений, представленных на рисунке 1, приведены в таблице 3.

Значения точек измерений, представленных на рисунке 2, приведены в таблице 4.

На основе анализа термограмм, полученных в результате проведения тепловизионного обследования корпусов промышленного предприятия №2 и №4, можно сделать следующие выводы:

Для корпуса №2:

Таблица 1. Параметры зданий

№	Показатель	Ед. изм.	
2	Год постройки	-	-
	Количество этажей	5	5
	Количество подъездов	1	2
3	Площадь здания:	м ²	м ²
	- типового этажа	958,8	958,8
	- общая	4794	4794
	- отапливаемая (без подвала и тех. этажа)	4794	4794
4	Площадь поверхности наружных стен здания:	м ²	м ²
		4080	4080
5	Материал и толщина каждого слоя стен	мм	мм
	- Силикатный кирпич	400	400
	- Пенополистерол	200	0
	- Штукатурка	3	0

Таблица 2. Перечень оборудования, использованного при инструментальном энергетическом обследовании

Наименование	Назначение
Тепловизор Testo 881-2	Определение мест утечек тепла и неравномерного распределения температуры по фасаду здания
Термогигрометр Testo	Измерение температуры окружающего воздуха

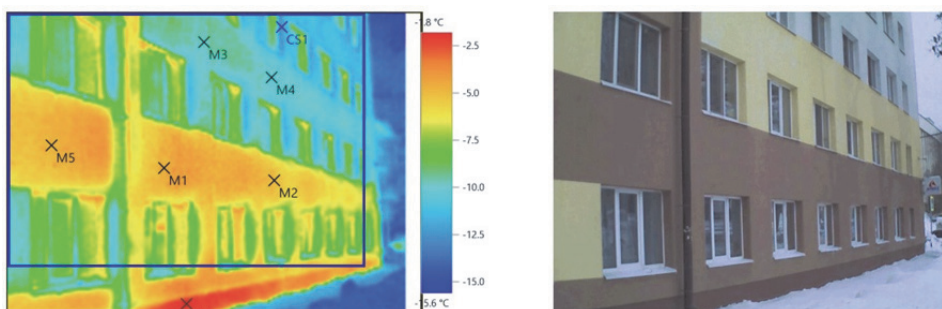


Рисунок 1. Термограмма Корпус № 4

Таблица 3. Значения точек измерений Корпуса № 4

Измеряемые объекты	Температура, °С
M1	-4.7
M2	-5
M3	-10
M4	-10.1
M5	-4.9
CS1	-12.5
HS1	-1.8

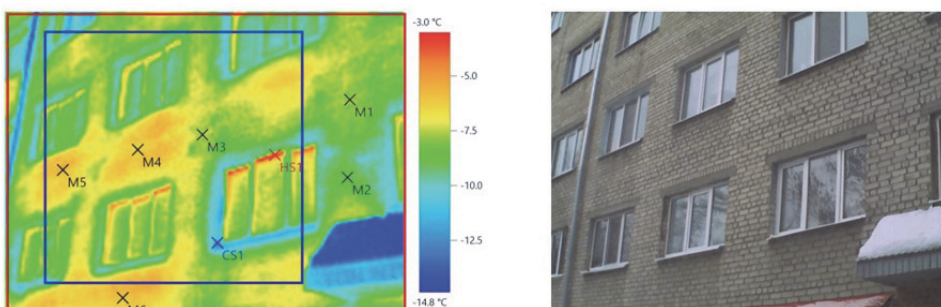


Рисунок 2. Термограмма Корпус № 2

Средняя температура фасада здания снаружи
вблизи оконных конструкций составляет -8,6 °С;
Средняя температура фасада здания снару-
жи вблизи подъездов составляет -8,6 °С;
Средняя температура стен здания изнутри

составляет 18,45 °С.

Для корпуса № 4:

Средняя температура фасада здания сна-
ружи вблизи оконных конструкций составляет
-8,72 °С;

Таблица 4. Значения точек измерений Корпуса № 2

Измеряемые объекты	Температура, °С
M1	-8
M2	-9
M3	-8
M4	-6.4
M5	-5.7
M6	-6.1
CS1	-12.5
HS1	-3

Средняя температура фасада здания снаружи вблизи подъезда составляет -9,25 °С;

Средняя температура стен здания изнутри вблизи оконных конструкций составляет 17,75 °С;

Средняя температура стен здания изнутри составляет 20,6 °С.

Для оценки сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания были использованы результаты замеров температур ограждающих конструкций объекта при проведении инструментального обследования и расчета плотности тепловых потоков в реперных зонах [8].

Сопротивление теплопередаче определяется исходя из температур поверхности ограждающих конструкций внутри и снаружи здания:

$$R = \frac{t_{in} - t_h}{q}, \frac{M^2 \cdot C}{Вт}, \quad (1)$$

где t_{in} – температура поверхности конструкции внутри здания, °С;

t_h – температура поверхности конструкции снаружи здания, °С;

q – плотность теплового потока, Вт/м².

Приблизительно плотность теплового потока может быть рассчитана по формуле (без учета излучения):

$$q = \alpha \cdot (t_h - t_H), \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где t_H – температура воздуха снаружи здания на момент замеров, °С;

α – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·°С), который для наружной поверхности приблизительно может быть вычислен по формуле Франка [9]:

$$\alpha = 7,74v^{0,656} + 3,78e^{-1,91v}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}, \quad (3)$$

где v – скорость ветра, м/с; $e = 2,718$ – основание логарифма.

Для расчета величины R использовались данные тепловизионной съемки (температуры)

характерные для отдельных зон фасада (ограждающие стеновые конструкции). По полученным значениям плотности теплового потока рассчитываются потери тепловой энергии через ограждающие конструкции, приведенные к среднесезонным условиям:

$$Q = \frac{q \cdot S \cdot D_d \cdot 24}{(t_B - t_H)} \cdot k, \text{ Гкал}, \quad (4)$$

где S – площадь поверхности ограждающей конструкции;

t_B – температура воздуха внутри здания на момент замеров, °С;

k – коэффициент перевода из Вт·ч в Гкал, ;

D_d – градусо-сутки отопительного периода по СП 50.13330.2012:

$$D_d = (t_{вн.возд.} - t_{от})Z_{от}, \text{ °С} \cdot \text{сут/год}, \quad (5)$$

где $t_{вн.возд.}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая по ГОСТ 30494-2011 (в интервале 20-22 °С) равной 21 °С;

$t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая по СП 131.13330.2012 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С равной - 5,2 °С;

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год, принимаемая по СП 131.13330.2012 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С равной 203 сут/год.

Результаты измерений и расчетов по двум зданиям сведены в таблицу 5.

R – расчетное сопротивление теплопередаче стен;

$R_{норм}$ – нормативное значение сопротивления теплопередаче стен жилых зданий (СП 50.13330.2012).

По итогу сравнения результатов инструментального обследования объектов можно сделать вывод о том, что в результате проведенных работ по утеплению фасадов количество теплопо-

Таблица 5. Результаты тепловых измерений и расчетов

Корпус №2	R, (м ² ·°C)/В т	R _{норм} , (м ² ·°C)/ Вт	t _в , °C	t _{ин} , °C	t _н , °C	t _н , °C	q, Вт/м ²	Q, Гкал
Наружная стена здания (зона окон)	0,333	0,544	21	18,45	-8,6	-10	29,54	724,28
Наружная стена здания (зона подъездов)	0,333	2,45	21	18,45	-8,6	-10	29,54	85,21
Корпус №4								
Наружная стена здания (зона окон)	0,72	0,544	21	20,6	-9,25	-10	15,8	378,9
Наружная стена здания (зона подъездов)	0,72	2,45	21	20,6	-9,25	-10	15,8	66,87

терь через ограждающие конструкции (стены) сократилось в 1,9 раз.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЙ ЗА ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Еще одним способом определения тепловых потерь ограждающих конструкций здания промышленного предприятия является метод определения теплопотерь за весь отопительный период.

Теплопотери нельзя рассчитать не зная теплотехнических качеств ограждений, коэффициентов теплообмена на поверхностях, расчетных наружных и внутренних условий.

Общие теплопотери здания Q_h [МДж], за отопительный период определяем по формуле [8]:

$$Q_h = 0.0864 \cdot K_m \cdot D_d \cdot A_e^{SUM}, \quad (6)$$

где K_m – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле:

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}, \quad (7)$$

K_m^{tr} – приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле:

$$K_m^{tr} = (A_w/R_w^r + A_f/R_f^r + A_{ed}/R_{ed}^r + n \cdot A_{c1}/R_{c1}^r + n \cdot A_f/R_f^r)/A_e^{SUM}, \quad (8)$$

A_w, R_w^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт, наружных стен (за исключением проемов);

A_f, R_f^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, заполнений светопроемов (окон, витражей, фонарей);

A_{ed}, R_{ed}^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, наружных дверей и ворот;

A_f, R_f^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, цокольных перекрытий;

A_{c1}, R_{c1}^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, чердачных перекрытий;

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху.

D_d – градусо-сутки отопительного периода, °C сут, определяют по формуле:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}, \quad (9)$$

где t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C, принимаемая по ГОСТ 30494-2011 (в интервале 20-22 °C) равной 21 °C;

t_{ht} – средняя температура наружного воздуха, °C, принимаемая по СП 131.13330.2012 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °C равной -5,2 °C;

A_e^{SUM} – общая площадь внутренних поверхностей, наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м²;

K_m^{inf} – условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле:

$$K_m^{inf} = 0.28 \cdot C \cdot n_a \cdot b_v \cdot V_h \cdot r_a^{ht} \cdot k/A_e^{SUM}, \quad (10)$$

где C – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);

b_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать = 0,85;

V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м³;

r_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха

за отопительный период, кг/м³:

$$r_a^{ht} = \frac{353}{[273+0.5 \cdot (t_{int}+t_{ext})]}, \quad (11)$$

n_a – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, для всех зданий, кроме производственных зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 23-01.

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях.

Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется с учетом термического сопротивления рассматриваемой ограждающей конструкции:

$$R = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \frac{m^2}{Bm}, \quad (12)$$

где α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций Вт/м², принимаемый равным 8,7 Вт/м² по СП 50.13330.2012;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м²)/Вт;

α_n – коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/м², принимаемый равным 12 Вт/м² по СП 50.13330.2012.

Расчетные значения сопротивления ограждающих конструкций зданий, а также расчетное значение общих теплопотерь зданий через ограждающие конструкции сведены в таблицу 6.

Теоретический расчет показал, что значение теплопотерь через ограждающие конструкции в утепленном объекте на 1,75 выше не утепленного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе инструментального обследования, а также в результате теоретического расчета определения значений теплопотерь зданий промышленного предприятия за отопительный период сведены в таблицу 7.

В результате проведенных теоретических расчетов было получено значение тепловых потерь через фасад здания, равное 677,751 Гкал/год для утепленного корпуса №4 и 1185,852 Гкал/год для неутепленного корпуса №2.

В результате сравнения теоретических и практических значений теплопотерь была установлено, что для корпуса №4 величина теплопотерь, полученным практическим способом составляет 445,8 Гкал/год, что на 231,9 Гкал/год меньше теоретического и 852,1 Гкал/год - для корпуса №2, что 333,752 Гкал/год меньше.

Однако, здесь необходимо учитывать, что теоретический расчет предполагает учет всех ограждающих зданий, в свою очередь расчет на основании инструментального обследования предполагает только стены.

В свою очередь, отношение между утепленным и неутепленным зданием близки и в теоретическом (1,75) и практическом (1,9) расчетах, что позволяет сделать вывод о взаимозаменяемости данных методов оценки потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции.

Таблица 6. Параметры теплозащиты здания

Ограждающие конструкции объекта:	Сопrotивление теплопередаче ограждающих конструкций, R, (м ² ·°C)/Вт				Общие теплопотери, Гкал/год	
	Требуемое значение согласно СНиП 23-02-2003	Отвечающее санитарно - гигиеническим и комфортным условиям, согласно СНиП II-3-79	По результатам теплотехнического расчета		Корпус №4 (утепленное)	Корпус №2
			Корпус №4 (утепленное)	Корпус №2		
Стены	3,05	1,38	6,05	0,77		
Окна; двери	0,51	0,51	0,21; 0,372	0,21; 0,372		
Чердачное перекрытие	4,05	1,84	1,15	1,15	677,751	1185,852
Цокольное перекрытие	4,05	1,38	0,411	0,411		

Таблица 7. Фактический годовой расход тепловой энергии на отопление и общие теплопотери через ограждающие конструкции

Объект	Потери тепловой энергии через ограждающие конструкции (стены), приведенные к среднесезонным условиям (инструментальное обследование), Гкал/год	Общие теплопотери через ограждающие конструкции (теоретический расчет), Гкал/год
Корпус № 4	445,8	677,751
Корпус № 2	852,1	1185,852

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – Введ. 2013-01-01, 2012. – 109 с.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 2013-07-01, 2012. – 139 с.
4. Данилов, О.Л. Научные основы энергосбережения / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик – М.: МГУПП, 2000, - 153 с.
5. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин – М.: Изд-во Машиностроение-1, 2006, - 256 с.
6. Плущевский, М.Б. Основы общей концепции нормативно-технического обеспечения ресурсосбережения в промышленности / М.Б. Плущевский – Киев: Общество «Знание», 1992, 12 с.
7. ГОСТ 26629-85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – Введ. 1986-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 14 с.
8. Клентак, А.С. Организация энергетического обследования зданий и сооружений: учебное пособие / А.С. Клентак, А.С. Филинова. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 60 с.
9. Малявина, Е.Г. Теплопотери здания. Справочное пособие / Е.Г. Малявина. – 2-е изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 144 с.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE THROUGH THE ASSESSMENT OF THERMAL ENERGY LOSSES

© 2022 A.S. Klentak

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov
(Samara University), Samara, Russia

The article discusses ways to improve the efficiency of the functioning of industrial enterprises using the method of assessing thermal energy losses through building envelope, performed on the basis of instrumental examination, as well as using the method of determining heat loss for the entire heating period if it is impossible to carry out a calculation based on instrumental examination.

Key words: efficiency, industrial enterprise, thermal energy losses, enclosing structures, instrumental examination, heating period.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-124-130

REFERENCES

1. Federal'nyj zakon № 261-FZ ot 23.11.2009 «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii».
2. SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-01-99. – Vved. 2013-01-01, 2012. – 109 s.
3. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-02-2003. – Vved. 2013-07-01, 2012. – 139 s.
4. Danilov, O.L. Nauchnye osnovy energosberezheniya / O.L. Danilov, B.I. Leonchik – M.: MGUPP, 2000, - 153 s.
5. Fokin, V.M. Osnovy energosberezheniya i energoaudita / V.M. Fokin – M.: Izd-vo Mashinostroenie-1, 2006, - 256 s.
6. Plushchevskij, M.B. Osnovy obshchej koncepcii normativno-tekhnicheskogo obespecheniya resursosberezheniya v promyshlennosti / M.B. Plushchevskij – Kiev: Obshchestvo «Znanie», 1992, 12 s.
7. GOST 26629-85. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyacii ograzhdayushchih konstrukcij. – Vved. 1986-07-01. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1986. – 14 s.
8. Klentak, A.S. Organizaciya energeticheskogo obsledovaniya zdaniy i sooruzhenij: uchebnoe posobie / A.S. Klentak, A.S. Filinova. – Samara: Izdatel'stvo Samarskogo universiteta, 2020. – 60 s.
9. Malyavina, E.G. Teplopoteri zdaniya. Spravochnoe posobie / E.G. Malyavina. – 2-e izd., ispr. – M.: AVOK-PRESS, 2011. – 144 s.

Anna Klentak, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat Engineering and Thermal Engines. E-mail: anna_klentak@mail.ru