

1.Копилевич В.А., Войтенко Л.В., Балакирева А.Д., Горбатенко К.А., Литвин Ю.С., Макаренко С.М., Островская А.В. Актуальные проблемы качества питьевой воды в Украине // Вода і водоочисні технології. – 2009. – №10-12. – С.7.

2.Эпоян С.А., Душкин С.С. Активированные растворы реагентов в процессах очистки природных вод // Программа и тезисы докладов XXXVI науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. – Харьков, 2012 – С.126.

3.Яковенко Н.М., Колесник Н.Ю., Беляева В.М. Потери воды в жилом фонде и борьба с ними // Комунальне господарство міст: Наук-техн. зб. Вип.103. – Харків: ХНАМГ, 2012. – С.255-260.

4.Эпоян С.М., Душкин С.С. Влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на гидравлическую крупность коагулированной взвеси в процессах очистки питьевой воды // Комунальне господарство міст: Наук-техн. зб. Вип.103. – Харків: ХНАМГ, 2012 – С.251-255.

5.Biswas A.R., Kindler J. Sustainable Water Development and Management: A Synthesis. – Paris:UNEP, 1989. – 217 p.

6.Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 356 с.

7.Смолуховский М. Кинетика коагуляции коллоидных растворов // Коагуляция коллоидов. – М.: ОНТИ, 1966. – С.81-94.

8.Кульский Л.А., Когановский А.М., Гороновский И.Т., Шевченко М.А. Фізико-хімічні основи очистки води коагуляцією. – К.: АН УССР, 1970. – 108 с.

9.Кургаев Е.Ф. Основы теории и расчета осветлителей. – М.: Госстройиздат, 1962. – 164 с.

10.Митин Б.А. Исследование прочности осадка гидроокиси алюминия, обработанного полиакриламидом / Б.А. Митин // Коллоидный журнал. – 1966. – Т. 28, №6. – С.852-857.

Получено 24.07.2012

УДК 697.7

Н.Н.БОЛОТСКИХ, канд. техн. наук

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

РАСЧЕТ ЛЕНТОЧНЫХ ГАЗОЛУЧИСТЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ EUCERK

Описаны устройство и назначение ленточных газолучистых систем отопления EUCERK, методика их расчета и особенности их применения в Украине.

Описано пристрій та призначення стрічкових газопроменевих систем опалення EUCERK, методика їх розрахунку та особливості їх використання в Україні.

The technology and assignment of tape EUCERK gas-fired radiant heating systems methods of their calculation and details of their application in Ukraine are described.

Ключевые слова: газолучистая система отопления, тепловая мощность, интенсивность облучения.

Для отопления производственных помещений с большими и средними внутренними площадями в последние годы все чаще стали применять ленточные газолучистые системы отопления, поставляемые на рынок Украины различными фирмами и компаниями [1]. С точки зрения

енергоєфективності представляють великий інтерес системи EUCERK, випускає компанія CARLIEUKLIMA (Італія). Ці системи створені для опалення великих виробничих приміщень з великою їх протяжністю і складною конфігурацією і з висотою стель від 4 до 10 м і вище. При їх експлуатації в робочій зоні таких приміщень забезпечується необхідна комфортна теплова середовище.

Ефективність застосування систем EUCERK в значительній мірі залежить від правильності їх вибору і розрахунку для умов конкретного виробничого приміщення. Компанією-виробником для розрахунку ленточних газолучистих систем EUCERK розроблена спеціальна упрощена методика [2].

Ураховуючи перспективність подальшого розширення області застосування ленточних газолучистих систем EUCERK в Україні цілесообразно, з нашої точки зору, більш детально познайомити проєктувальників і інших інженерно-технічних працівників, а також викладачів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів, які займаються проблемами опалення виробничих приміщень, з цією методикою. В зв'язі з цим нинішня стаття присвячується короткому опису ленточних газолучистих систем опалення EUCERK, упрощеної методики їх розрахунку і вибору, а також особливостей використання цієї методики при проєктуванні систем опалення виробничих приміщень в Україні.

Метою нинішньої статті є розширення області застосування енергоєфективних ленточних газолучистих систем опалення EUCERK і зменшення витрат газу при їх експлуатації на виробничих підприємствах в Україні.

Системи опалення виробничих приміщень з використанням ленточних газолучистих нагрівачів EUCERK (рис.1) складаються з газогорелочних блоків, камер циркуляції, теплоізлучаючих лент і щитів управління і контролю [3].

Газогорелочний блок разом з камерою циркуляції, системою управління і контролю, вентилятором і димоходом звичайно розташовуються за межами обігріваного приміщення. Теплоізлучаючі ленти, які знаходяться всередині приміщення, представляють собою замкнуту контуру, що складається з каркаса і однієї або двох ізлучаючих труб діаметром 315 мм, ізолюваних зверху і по боках з допомогою високоплотної стекловати з алюмінієвою фольгою. Теплоізлучаюча лента може мати різну довжину і конфігурацію в залежності від характеристик опалюваного приміщення і прийнятої в проєкті опалення схеми її розміщення. В приміщеннях великої протяжності і складної конфігурації траса теплоізлучаючої ленти може бути вигнута як в горизонтальній, так і в вертикальній площинах.

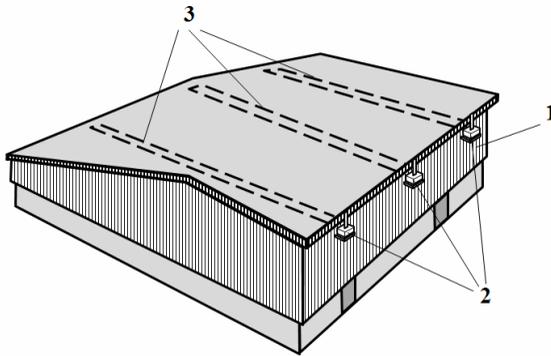


Рис.1 – Схема отопления производственного помещения с использованием трех ленточных газолучистых нагревателей EUCERK:
 1 – производственное помещение; 2 – газогорелочные блоки;
 3 – теплоизлучающие двухтрубные ленты.

Принцип действия газолучистых нагревателей EUCERK заключается в следующем. В горелочном блоке происходит сгорание газа. Продукты сгорания принудительно с помощью центробежного вентилятора непрерывно циркулируют с большой скоростью внутри герметичной трубы теплоизлучающей ленты. При этом в трубе постоянно поддерживается отрицательное давление. Возвращаясь по трубе в горелочный блок часть дымовых газов снова поступает в камеру сгорания, подогревается и смешивается с новыми продуктами сгорания. Другая их часть, соответствующая объему поступивших для горения воздуха и газа, отводится через специальный коллектор и дымоход наружу. Продукты сгорания, циркулируя внутри теплоизлучающих труб, нагревают их наружные поверхности до средней температуры равной 150-250°С. Такие относительно невысокие температуры наружной поверхности излучающих труб вдоль ленты нагревателя позволяют в рабочей зоне иметь комфортную температуру при невысоких значениях интенсивности облучения, что положительно сказывается на самочувствии работающих.

Модельный ряд ленточных газолучистых нагревателей EUCERK представлен 17 типоразмерами. Их мощность варьируется в пределах от 30 до 300 кВт. Стандартная длина трубы одинарной излучающей ленты находится в пределах от 36 до 192 м, а двойной – от 18 до 120 м. Ленточные газолучистые нагреватели EUCERK комплектуются газовыми дутьевыми горелками типа WEISHAUPT с модулируемым режимом их эксплуатации. Они работают как на природном, так и на сжиженном газе.

Газолучистые системы отопления EUCERK надежны в эксплуатации, безопасны. Они обеспечивают минимум вредных выбросов в атмосферу. Эти системы отопления разрешены для использования практически в любом типе промышленных, коммерческих и спортивных помещений по всему миру.

При работе газолучистых систем отопления EUCERK в помещении тепловой градиент имеет незначительную величину. Кроме того, конвективная теплопередача сведена к минимуму. Средняя температура в помещении при их работе увеличивается за счет «лучистой добавки». По сравнению с конвективным способом отопления при использовании газолучистого предметы, люди и конструкции имеют более высокую температуру и для обогрева помещения требуются меньшие тепловые затраты.

Алгоритм методики расчета газолучистых систем отопления EUCERK, предложенной компанией CARLIEUKLIMA [2], включает в себя определение:

- статических теплопотерь через внешние стены помещения и стены в обогреваемые помещения или с более низкой температурой, потолка и полы (Φ_r);
- динамических потерь тепла в помещении за счет инфильтрации наружного воздуха (Φ_v);
- корректирующего повышающего коэффициента статических потерь тепла, учитывающего высоту монтажа системы отопления (КАН);
- корректирующего повышающего коэффициента статических потерь тепла, учитывающего структуру помещения, т.е. отношение между собой площадей всех внешних и внутренних поверхностей помещения (КАФ);
- корректирующего повышающего коэффициента статических потерь тепла, учитывающего время работы оборудования системы отопления, а также его тепловую инерцию при выходе на заданную мощность (КАИ);
- корректирующего понижающего коэффициента общих статических и динамических потерь тепла (КRR) из-за использования при расчетах рабочей температуры (t_0) вместо температуры воздуха (t_g);
- необходимой общей тепловой мощности системы отопления (Φ);
- необходимой тепловой мощности оборудования системы EUCERK (Φ').

Рабочая температура (t_0) при этом определяется по формуле

$$t_0 = \frac{t_g + t_u}{2}, \quad (1)$$

где t_a – температура воздуха в помещении, °С; t_u – средняя температура излучения (средневзвешенная температура всех поверхностей помещения), °С.

Чтобы обойти трудности расчетов средней температуры излучения (t_u) и определить необходимое излучение для создания тепловой комфортности в помещении, разработан упрощенный метод определения теплопотерь, в котором рабочая температура (t_0) в стандартных условиях определяется по специальной таблице. Эта таблица содержит 10 уровней активности:

- 1-й, 2-й и 3-й уровни включают в себя, соответственно, легкую, среднюю и стандартную сидячую работу;
- 4-й, 5-й и 6-й уровни – легкую, среднюю и стандартную работу на ногах;
- 7-й и 8-й уровни – легкую и среднюю работу в движении;
- 9-й и 10-й уровни – работу в постоянном движении и тяжелую работу в постоянном движении.

Каждому из этих 10 уровней активности соответствуют свои диапазоны изменения рабочей температуры. Например, для 1 уровня активности при легкой сидячей работе $t_0 = 20 \div 22$ °С, а для 10 уровня при тяжелой работе в постоянном движении $t_0 = 10 \div 12$ °С.

Статические теплопотери (Φ_T) вычисляются для каждой стены, а также каждого потолка и пола с помощью формулы

$$\Phi_T = U \cdot A(t_0 - t_n), \quad (2)$$

где U – коэффициент общей теплопередачи (коэффициент теплопроводности), Вт/(м²К); A – площадь стены (или элементов стены, если она состоит из разных материалов с разными коэффициентами U), м²; t_0 – рабочая температура для данного помещения, °С; t_n – расчетная наружная температура, °С.

Значения t_n принимаются по соответствующим справочникам в зависимости от региона, где находится производственное помещение и в котором намечается использование газолучистого отопления EUCERK.

Динамические теплопотери определяются по формуле

$$\Phi_V = n \cdot U \cdot \rho \cdot C_p(t_0 - t_n), \quad (3)$$

где n – кратность воздухообмена, 1/ч; V – объем помещения, м³; ρ – плотность воздуха, кг/м³; C_p – теплоемкость воздуха при постоянном

давлении, Вт ч/кгК.

Для определения корректирующих коэффициентов КАН, КАФ, КАИ и KRR разработаны специальные таблицы. В этих таблицах значения коэффициента КАН при изменении высоты подвески системы от 5 до 20 м находятся в пределах от 0,03 до 0,58. Величина коэффициента КАФ при соотношении сумм площадей всех внешних и внутренних поверхностей от 2 до 3,8 находится в пределах от 0 до 0,32. Коэффициент КАИ при времени работы системы отопления в сутки от 4 до 24 ч находится в пределах от 0,3 до 0. Значения коэффициента KRR при уровнях активности от 1 до 10 и изменении кратности воздухообмена от 0,5 до 6 изменяются в пределах от 0,64 до 0,9. Его величина может быть также подсчитана по формуле

$$KRR = 0,58 \cdot 1,024^{20-a-n}, \quad (4)$$

где a – уровень активности; n – кратность воздухообмена.

С учетом выбранных по таблице упомянутых выше корректирующих коэффициентов определяются соответствующие составляющие теплопотерь и вычисляется мощность системы отопления (Φ). Затем вычисляется необходимая тепловая мощность оборудования газолучистой системы EUCERK по формуле

$$\Phi' = \Phi / \eta, \quad (5)$$

где η – общий КПД оборудования газолучистой системы EUCERK ($\eta \approx 0,91$).

Кроме того, при ориентировочных расчетах тепловая мощность необходимого оборудования газолучистой системы EUCERK для различных значений площади обогрева (F) и требуемой разницы между расчетной рабочей и наружной температурой воздуха может быть определена с помощью диаграммы, приведенной на рис.2. Согласно этой диаграммы, например, для отопления помещения площадью $F=600 \text{ м}^2$ при требуемой разнице температур $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ общая тепловая мощность оборудования газолучистой системы EUCERK должна составлять 168 кВт. Эта мощность может быть обеспечена путем использования для отопления, например, одного обогревателя EUCERK 168 (с потреблением природного газа $18,9 \text{ м}^3/\text{ч}$) либо четырех обогревателей EUCERK 40 (с потреблением природного газа $4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ каждым) и средней температуры поверхностей их теплоизлучающих труб $< 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для использования выбранной модели газолучистой системы отопления EUCERK в Украине необходима кроме того проверка ее соответствия действующим национальным нормативным документам, касающимся применения инфракрасных газовых систем отопления, осо-

бенно ГОСТу 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [4].

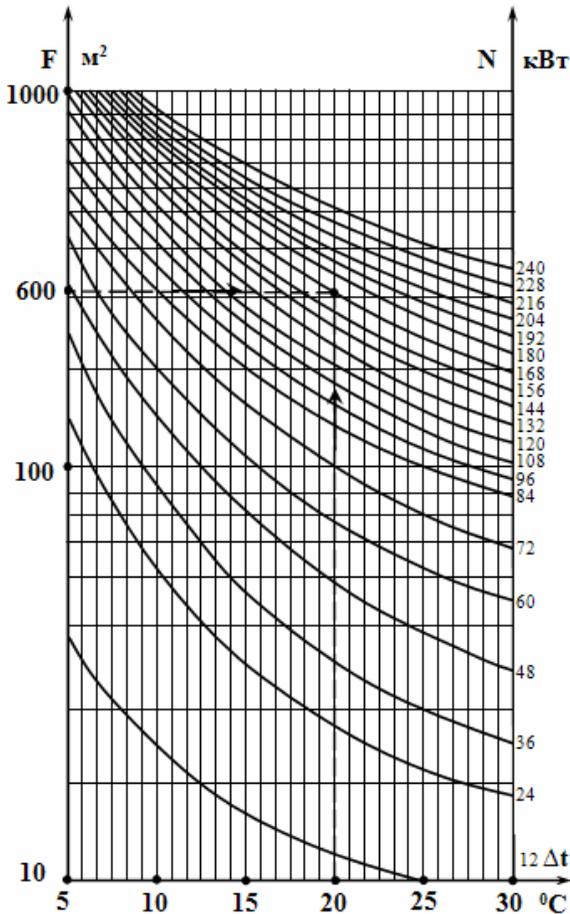


Рис.2 – Диаграмма для определения необходимой тепловой мощности оборудования газолучистой системы отопления EUCERK

Этим ГОСТом в качестве показателей, характеризующих микроклимат в производственных помещениях, утверждены следующие: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения. В ГОСТе 12.1.005-88 указаны оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне произ-

водственных помещений в зависимости от пяти категорий выполняемых работ (легкая – Ia и Ib, средней тяжести – Ia и IIб и тяжелая – III), а также двух периодов года (холодный и теплый). Кроме того, в ст.1.8 этого ГОСТа приведены соответствующие допустимые значения интенсивности теплового облучения работающих в зависимости от величины облучаемой поверхности их тела (не более 25%, от 25 до 50%, 50% и более). Эти нормы должны соблюдаться как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации систем газового инфракрасного отопления.

Особое внимание следует уделять значениям температуры и интенсивности облучения в рабочей зоне. В первую очередь следует соблюдать два условия [5]

$$t_{эф} = [t_г^{opt}] \quad (6)$$

и

$$q_{сум}^{max} \leq [q], \quad (7)$$

где $t_{эф}$ – эффективная температура (температура ощущения) в рабочей зоне отапливаемого помещения, °С; $q_{сум}^{max}$ – максимальные значения суммарной интенсивности облучения (удельной облученности) в рабочей зоне отапливаемого помещения, Вт/м²; $[t_г^{opt}]$ – рекомендуемые ГОСТом оптимальные значения температуры воздуха в рабочей зоне помещения, °С; $[q]$ – допустимое значение интенсивности облучения в рабочей зоне, Вт/м².

Как уже упоминалось выше, при инфракрасном отоплении находящиеся в помещении люди оценивают температуру в рабочей зоне (температуру ощущения) всегда выше температуры воздуха. Немецкая фирма «Шванк» (г.Кельн) для определения температуры ощущения в зоне действия инфракрасных нагревателей рекомендует следующую эмпирическую зависимость

$$t_{эф} = t_г + 0,0716 \cdot q, \quad (8)$$

где $t_г$ – температура воздуха в рабочей зоне отапливаемого помещения, °С; 0,0716 – эмпирический переводной коэффициент, °С м²/Вт; q – интенсивность облучения, Вт/м².

Графически зависимость (8) представлена на рис.3.

Анализ этих графиков показывает, что при одном и том же значении температуры воздуха в помещении, отапливаемом инфракрасным способом, эффективная температура (температура ощущения) возрастает по мере роста интенсивности излучения (облучения). Это обстоятель-

ство предоставляет возможность при инфракрасном (газолучистом) отоплении за счет имеющей место «лучистой добавки» снижать расчетную температуру внутреннего воздуха ниже нормируемой (для конвективных способов) величины на 3...5°C и за счет этого экономить энергоресурсы. Кроме того, следует иметь в виду то, что большим значением $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ соответствуют большие величины температур излучающей поверхности нагревателя и, соответственно, более высокая лучистая составляющая передачи энергии, определяющая его эффективность. С учетом этого обстоятельства при определении t_e для последующего расчета тепловой нагрузки величину $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ целесообразно принимать максимальной, но не более допустимой ГОСТом [4].

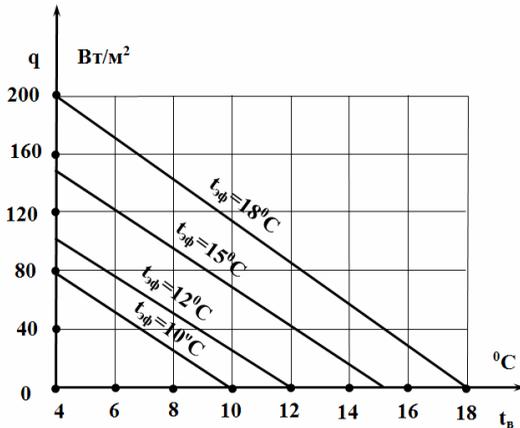


Рис.3 – Графики изменения эффективной температуры ($t_{\text{эф}}$) при различных значениях интенсивности облучения (q) и температуры воздуха ($t_{\text{в}}$)

Формулу для определения значений расчетной температуры воздуха (t_e) в рабочей зоне отопляемого помещения, отвечающей условиям (6) и (7), путем несложных преобразований получаем в виде:

$$t_e = [t_e^{\text{opt}}] - 0,0716 \cdot q_{\text{сум}}^{\text{max}} \quad (9)$$

При выполнении расчетов при проверке соответствия выбранной модели газолучистой системы отопления EUCERK требованиям ГОСТа 12.1.005-88 значения интенсивности облучения (q) или $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ могут быть определены по методике, разработанной в ХНУСА [5]. Согласно этой методике, например, для однотрубных ленточных нагревателей распре-

деление интенсивности облучения в рабочей зоне характеризуется интегралом, записанным в виде:

$$q = \int_0^{X'} \frac{1,8 \cdot S^x \cdot L \left[\left(\frac{t_1(X') + 273}{100} \right)^4 - 92 \right]}{\left[h^2 + \Delta Y + (\Delta X - LX')^2 \right]^2} \cdot h(h \cdot \cos \alpha + \Delta Y \cdot \sin \alpha) \cdot dX', \quad (10)$$

где $X' = l/L$ – относительная текущая координата; l – текущая координата вдоль оси нагревателя, м; L – длина излучающей трубы нагревателя, м; S^x – ширина ленты нагревателя, м; h – высота подвески нагревателя, отсчитываемая от уровня головы человека, м; α – угол наклона нагревателя, град; ΔX – продольное расстояние от головы человека до точки подсоединения горелки к излучающей трубе нагревателя, м; ΔY – поперечное отклонение головы человека от оси нагревателя, м.

Решение этого интеграла с использованием пакета программ численного интегрирования по методу Симпсона в системе MATLAB 7 позволило ХНУСА разработать алгоритм и соответствующую компьютерную программу для расчета интенсивности облучения и нахождения ее максимально значения. Использование этой методики для нахождения максимальных значений суммарной интенсивности облучения в рабочей зоне помещения, отапливаемого с помощью трубчатых инфракрасных нагревателей, подробно описано в работе [5]. Полученные таким образом значения q или $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ должны быть всегда меньшими или равными допускаемым ГОСТом [4] значениям.

Таким образом, с учетом приведенных выше соображений, алгоритм методики расчета отопления с помощью ленточных газолучистых систем EUCERK, разработанной компанией CARLIEUKLIMA, должен быть скорректирован. После определения необходимой тепловой мощности оборудования системы (Φ') необходимо дополнительно выполнить следующие этапы расчета:

- выбор модели и мощности ленточного газолучистого нагревателя EUCERK и их количества для отопления данного помещения;
- уточнение схемы размещения выбранных ленточных газолучистых нагревателей в отапливаемом помещении;
- расчет интенсивности облучения (плотности теплового потока) в рабочей зоне и нахождение максимальных значений $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$;
- определение эффективной температуры (температуры ощущения) в рабочей зоне ($t_{\text{эф}}$);

- сопоставление полученных значений эффективной температуры и максимальной интенсивности облучения в рабочей зоне с допустимыми ГОСТом 12.1.005-88 значениями.

В случае невыполнения требований ГОСТа [4] принимается новое решение относительно количества нагревателей и их размещения в помещении либо их модели и мощности и процесс расчета повторяется. Такие перерасчеты могут выполняться последовательно несколько раз, пока не будет достигнуто соблюдение требований ГОСТа 12.1.055-88. При выполнении этих требований принимается окончательный вариант системы отопления. Предпочтение при этом отдается варианту с наименьшими энергозатратами.

В зависимости от характеристики конкретного помещения и ряда возможных других факторов последовательность расчета может быть несколько изменена. Независимо от последовательности расчетов и необходимости рассмотрения большого количества возможных вариантов отопления в конечном итоге необходимо добиваться того, чтобы запроектированная система отопления с помощью газолучистых нагревателей EUCERK обеспечивала на практике комфортные параметры микроклимата в рабочей зоне помещения в соответствии с требованиями ГОСТа [4] при минимальных расходах газа.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Ленточные газолучистые системы отопления EUCERK обеспечивают надежный обогрев, безопасность и комфортную тепловую среду в рабочей зоне производственных помещений с большими внутренними площадями и сложной конфигурацией. В сравнении с другими инфракрасными системами отопления они имеют наиболее низкие эксплуатационные расходы, а также минимальные вредные выбросы в атмосферу.

2. Расширение области применения систем EUCERK в Украине для отопления промышленных, коммерческих и спортивных помещений больших размеров позволит ускорить решение проблемы энергосбережения и в первую очередь проблемы сокращения расходов газа.

3. При проектировании систем отопления больших помещений с помощью газолучистых нагревателей EUCERK целесообразно использовать методики расчета, предложенные компанией CARLIEUKLIMA [2] и ХНУСА [5]. При этом должны строго выполняться все требования нормативных документов, действующих в Украине, в части использования газового инфракрасного отопления, особенно ГОСТа 12.1.005-88[4].

1.Болотских Н.Н. Инфракрасное отопление производственных помещений / Н.Н.Болотских // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2011. – №4. – С.27-32.

2. Излучение. Техническое руководство. Версия 090. [Электронный ресурс]. – Италия: CARLIEUKLIMA. – Режим доступа: www.carlieuklima.it, 2010. – 44 с.

3. Идеальное решение для обогрева больших и средних площадей. [Электронный ресурс]. – Италия: CARLIEUKLIMA. – Режим доступа: www.carlieuklima.it, 2010. – 7 с.

4. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Система стандартов безопасности труда. – М.: Государственный стандарт СССР, 1988. – 78 с.

5. Болотских Н.Н. Совершенствование методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями / Н.Н.Болотских // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вип.54. – С.76-91.

Получено 14.07.2012

УДК 621.327

В.Ф.ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, А.А.ЯКУНИН

Харьковская национальная академия городского хозяйства

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКТА РАЗРЯДНАЯ ЛАМПА – ДРОССЕЛЬ В СРЕДЕ MATLAB

Средствами вычислительного эксперимента исследован характер поведения электрических параметров разрядной лампы высокого давления. Сравнение полученных результатов с реальными данными подтверждает адекватность используемой модели нестационарных процессов.

Засобами обчислювального експерименту досліджено характер поведінки електричних параметрів розрядної лампи високого тиску. Порівняння отриманих результатів з реальними даними підтверджує адекватність використаної моделі нестационарних процесів.

The behavior of electrical parameters of the high pressure discharge lamp was investigated by computer simulation means. Results comparing with real measurements data confirm the used time-dependent processes model adequacy.

Ключевые слова: разрядная лампа, нестационарный процесс, вычислительный эксперимент, модель, адекватность.

В системах освещения промышленных и гражданских объектов широко используются разрядные лампы высокого давления (РЛВД) [1, 2]. Для внешней сети комплект РЛВД – дроссель (Др) представляет собой нелинейную динамическую нагрузку с существенной инерционностью. При промышленной частоте питающего напряжения в нем происходят различные по характеру и длительности явления. Создание модели комплекта РЛВД – Др, отражающей как установившиеся, так и переходные процессы, является перспективным подходом к исследованию осветительных установок и их взаимодействия с внешними элементами для разработки оптимальных параметров осветительных систем и снижения негативного влияния на качество электроэнергии.

Существует несколько подходов к моделированию режимов работы