

УДК 697.9

В. И. ЗАХАРОВ, Ю. А. ГОЛОВАЧ, А. И. ЗНАХАРЯНЦ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ, В КОТОРЫХ УСТАНОВЛЕННЫ ГАЗОВЫЕ ПЛИТЫ, И КРАТНОСТИ ВОЗДУХООБМЕНА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ ЕЕ К НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Аннотация. Выполнен анализ состояния воздушной среды в кухнях при работе газовых плит, работающих на природном газе, в продуктах сгорания которого содержатся оксид углерода и окислы азота, рассчитаны необходимая кратность воздухообмена и количество вентилируемого воздуха при использовании плит с серийно выпускаемыми горелками и горелками с дополнительными воздухоподводящими каналами под углом наклона 20°.

Ключевые слова: газовые плиты, оксид углерода, окислы азота, горелка, кратность воздухообмена.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения, в помещениях непромышленного типа, в частности в жилище, человек проводит свыше 80 % своего времени. Таким образом, качество воздуха помещения жилища является одним из самых важных условий сохранения здоровья и работоспособности [1].

Основным недостатком бытовых газовых плит является то, что продукты сгорания газа, в том числе оксиды углерода и азота, поступают непосредственно в помещение кухни. Наличие в воздухе значительных количеств продуктов сгорания при открытом сжигании газа снижает концентрацию кислорода в воздушной среде кухни, что также неблагоприятно сказывается на здоровье человека. Загрязнение воздушной среды кухни продуктами сгорания газообразного топлива может достигать больших величин, учитывая, что при сжигании 1 м³ природного газа расходуется около 2 м³ кислорода и образуется 1 м³ углекислого газа, 2 м³ водяных паров и 7,5 м³ азота. Продукты сгорания, которые образуются в процессе сжигания газообразного топлива, отрицательно влияют на окружающую среду и организм человека, поэтому требуют своевременного удаления из помещений.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В соответствии с [2] при проектировании и строительстве жилых зданий должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие выполнение санитарно-эпидемиологических и экологических требований по охране здоровья людей и окружающей природной среды. Объем воздуха, подаваемый в помещения, в которых установлены только газовые плиты в качестве газоиспользующего оборудования, должен составлять 100 м³/ч.

Согласно [3] в кухнях должна обеспечиваться вытяжка по воздушному балансу квартиры, но не менее 90 м³/ч.

В Мосгазпроекте были проведены исследования горелок бытовых газовых плит различных стран с целью определения вредных компонентов в продуктах сгорания природного газа [4]. В результате проведенных исследований была предложена новая конструкция газовой горелки для бытовой плиты, в которой выполнены воздухоподводящие каналы у смесителя горелки под углом α , что позволило снизить содержание вредных компонентов в продуктах сгорания [5].

Представляет интерес проанализировать, как изменяется необходимая кратность воздухообмена и количество вентилируемого воздуха при использовании плит с серийно выпускаемыми горелками и горелками с пониженным выходом окислов азота.

Целью статьи является анализ состояния воздушной среды в кухнях при работе газовых плит на природном газе, в продуктах сгорания которого содержатся оксид углерода и окислы азота, расчет необходимого воздухообмена при использовании различных типов газовых горелок и сравнение его с нормативными значениями.

В работе [6] отмечено, что количество окислов азота в продуктах сгорания от бытовой газовой плиты зависит от тепловой мощности горелок.

Результаты испытаний для серийно выпускаемой газовой горелки (далее стандартная) бытовой плиты класса ПГ-4 класса 1 «А» приведены в [5] и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NOx} в продуктах сгорания от тепловой мощности стандартной горелки Q

Тепловая мощность горелки Q , Вт	814	1 326	1 745	1 799	2 326
Концентрация окислов азота x_{NOx} , мг/м ³	21,0	33,5	38,7	40,5	44,0

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные таблицы 1 могут быть описаны уравнением следующего вида

$$x_{NOx} = \exp\left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{Q} - 0,19386831 \cdot \ln Q\right), \quad (1)$$

где Q – тепловая мощность газовой горелки, Вт.

На рисунке 1 показано, как полученная зависимость (1) аппроксимирует данные таблицы 1.

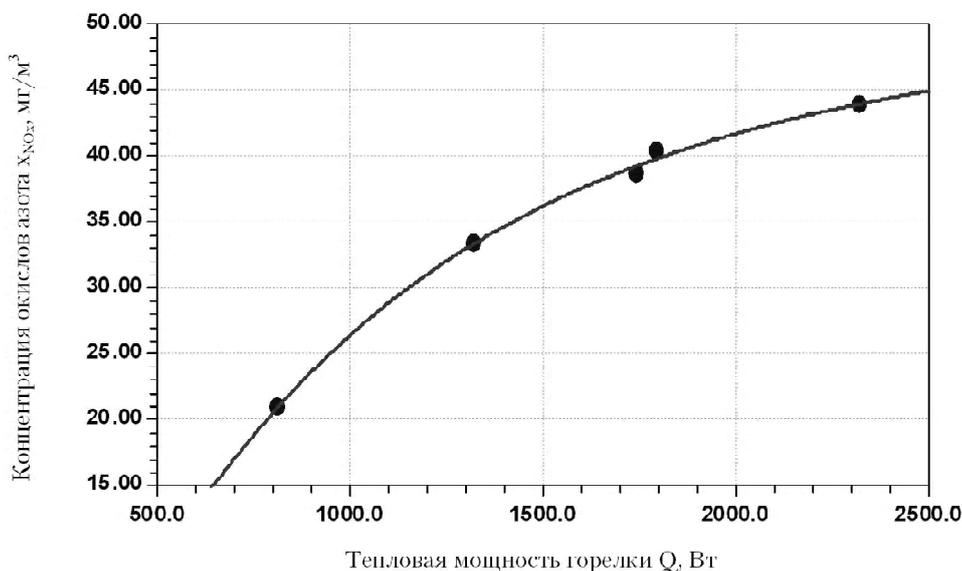


Рисунок 1 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NOx} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q стандартной горелки.

Проверка значимости полученной зависимости (1) производилась с использованием числа Фишера. Число Фишера, рассчитанное по формулам [7], составляет $\hat{F}_y = 318,7127$, а табличное при 1%-ном уровне значимости $F^r_{(4; 3; 1\%)} = 16,6940$, следовательно, уравнение (1) статистически значимо описывает результаты экспериментов, приведенные в таблице 1.

Для определения концентрации окислов азота x_{NOx} в продуктах сгорания рассмотрим в качестве газового прибора плиту ПГ-4, которая имеет следующие горелки:

- нормальной тепловой мощности 1,9 кВт;

- повышенной тепловой мощности 2,8 кВт;
- пониженной тепловой мощности 0,7 кВт.

Расчет значений концентрации окислов азота x_{NO_x} , мг/м³, в продуктах сгорания производится по уравнению (1) для каждого вида горелки отдельно.

$$x_{NO_x}^{норм} = \exp\left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{1900} - 0,19386831 \cdot \ln 1900\right) = 40,87 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NO_x}^{пов} = \exp\left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{2800} - 0,19386831 \cdot \ln 2800\right) = 46,30 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NO_x}^{пон} = \exp\left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{700} - 0,19386831 \cdot \ln 700\right) = 17,07 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрация окислов азота в продуктах сгорания, (мг/м³), при одновременной работе всех горелок газовой плиты ПГ-4 (двух горелок нормальной тепловой мощности, одной горелки повышенной и одной горелки пониженной тепловой мощности) определяется по формуле:

$$x_{NO_x}^M = \frac{2x_{NO_x}^{норм} \cdot V_C^{норм} + x_{NO_x}^{пов} \cdot V_C^{пов} + x_{NO_x}^{пон} \cdot V_C^{пон}}{2V_C^{норм} + V_C^{пов} + V_C^{пон}}, \quad (2)$$

где $V_C^{норм}$, $V_C^{пов}$, $V_C^{пон}$ – количество продуктов сгорания соответственно от горелок нормальной, повышенной и пониженной тепловой мощности, м³/ч.

Расчет выполнен для природного газа, состав которого приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав природного газа

Компоненты	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂	O ₂
Содержание, %	94,669	2,212	0,509	0,142	0,040	2,225	0,201	0,002

$$x_{NO_x}^M = \frac{2 \cdot 40,87 \cdot 1,9931 + 46,30 \cdot 2,9373 + 17,07 \cdot 0,7336}{2 \cdot 1,9931 + 2,9373 + 0,7336} = 40,67 \text{ мг/м}^3.$$

Для пересчета концентрации из мг/м³ в %об. воспользуемся формулой:

$$x_{NO_x} = \frac{x_{NO_x}^M}{10\,000 \cdot \rho_{NO_x}}, \quad (3)$$

где ρ – плотность окислов азота, кг/м³.

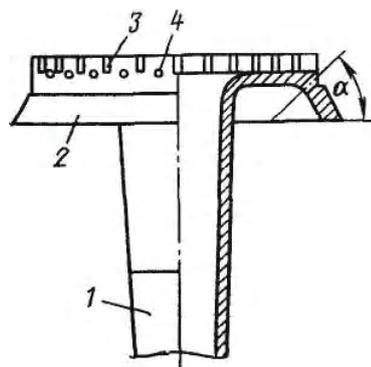


Рисунок 2 – Смеситель с воздуховодящими каналами между факелами под углом α к плоскости рабочего стола: 1 – смеситель; 2 – головка; 3 – огневые отверстия; 4 – каналы.

$$x_{NO_x} = \frac{40,67}{10\,000 \cdot 1,491} = 0,00273 \text{ \%об.}$$

Произведем расчет концентрации окислов азота при использовании усовершенствованной горелки, описанной в [5]. Конструкция смесителя данной горелки, представленная на рисунке 2, обеспечивает дополнительную организацию подачи воздуха непосредственно к корням факелов за счет эжектирующего эффекта высокотемпературных продуктов сгорания.

Для снижения общего температурного уровня, влияющего на выделение вредностей, в зоне образования NO_x в корпусе головки 2 смесителя 1 между огневыми отверстиями 3 были сделаны каналы 4 для подачи воздуха.

Для выбора оптимального угла наклона оси воздуховодящих каналов были проведены исследования с девятью смесителями с углом наклона оси каналов от 5 до 70°. Давление газа для каждого смесителя изменяли от 196 до 1 765 Па, что соответствовало изменению теплопроизводительности горелки Q от 814 до 2 326 Вт. В процессе анализа полученных результатов было выявлено, что

наилучшими теплотехническими и санитарно-гигиеническими показателями обладает смеситель с воздухоподводящими каналами под углом 20° . При давлении $p_r = 1\,274$ Па и расстоянием от центра огневых отверстий плиты до дна теплоприемника $h = 2,7 \cdot 10^{-2}$ м концентрация $NO_x = 24$ мг/м³, при этом КПД плиты составляет 55,1 % [5].

Результаты измерений концентрации окислов азота при работе горелки с воздухоподводящими каналами под углом 20° (далее усовершенствованная горелка), приведены в [5] и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q усовершенствованной горелки

Тепловая мощность горелки Q , Вт	814	1 326	1 745	1 799	2 326
Концентрация окислов азота x_{NO_x} , мг/м ³	13,3	21,4	22	24,4	25,3

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные таблицы 3 могут быть описаны уравнением следующего вида

$$x_{NO_x} = 31,835428 - \frac{14\,902,474}{Q}, \quad (4)$$

где Q – тепловая мощность газовой горелки, Вт.

На рисунке 3 показано, как уравнение (4) аппроксимирует данные таблицы 3.

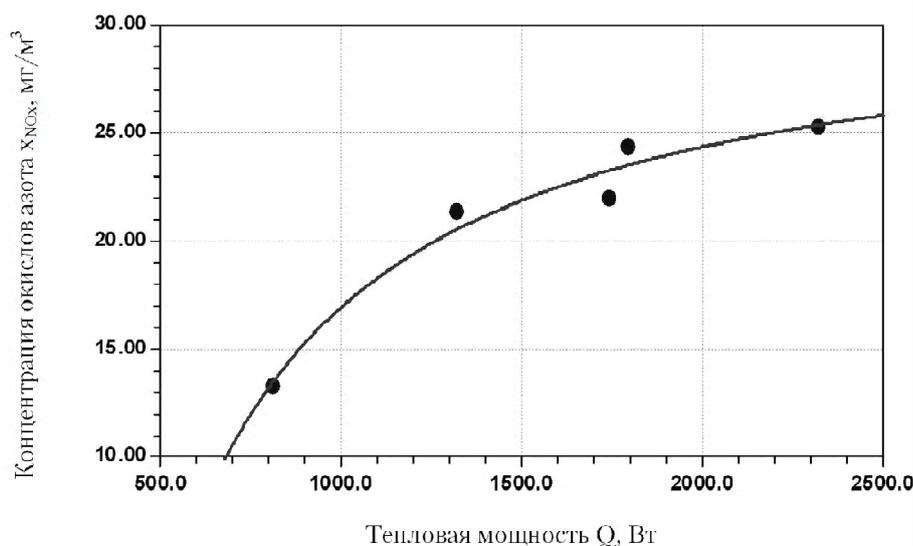


Рисунок 3 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q усовершенствованной горелки.

Проверка значимости полученной зависимости выполнялась при помощи числа Фишера.

Число Фишера, рассчитанное по формулам [7], составляет $\hat{F}_y = 21,7225$, а табличное при 1%-ном уровне значимости $F_{(4; 3; 1\%)}^{(4; 3; 1\%)} = 16,6940$, следовательно, уравнение (4) статистически значимо описывает результаты экспериментов, приведенные в таблице 3.

Рассчитаем, как изменится концентрация окислов азота для усовершенствованной горелки при тех же тепловых мощностях горелки плиты ПГ-4 (состав газа указан в табл. 2).

Расчет значений концентрации окислов азота x_{NO_x} , мг/м³, в продуктах сгорания производится по уравнению (4) для каждого вида горелки отдельно.

$$x_{NO_x}^{норм} = 31,835428 - \frac{14\,902,474}{1900} = 23,99 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NOx}^{нов} = 31,835428 - \frac{14\,902,474}{2\,800} = 26,51 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NOx}^{пони} = 31,835428 - \frac{14\,902,474}{700} = 10,55 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрация окислов азота в продуктах сгорания, (мг/м^3), при одновременной работе всех горелок газовой плиты ПГ-4 (двух горелок нормальной тепловой мощности, одной горелки повышенной и одной горелки пониженной тепловой мощности) определяется по формуле (2).

$$x_{NOx}^м = \frac{2 \cdot 23,99 \cdot 1,9931 + 26,51 \cdot 2,9373 + 10,55 \cdot 0,7336}{2 \cdot 1,9931 + 2,9373 + 0,7336} = 23,67 \text{ мг/м}^3.$$

Пересчет концентрации в $\%_{об.}$ производится по формуле (3).

$$x_{NOx} = \frac{23,67}{10\,000 \cdot 1,491} = 0,00159 \%_{об.}$$

Из расчетов видно, что применение усовершенствованной горелки (рисунок 2) позволило снизить концентрацию окислов азота в продуктах сгорания с 0,00273 до 0,00159 $\%_{об.}$

Необходимая кратность воздухообмена при предельно допустимой концентрации окиси азота в воздухе помещения, которая лимитируется санитарно-гигиеническими требованиями, определяется по формуле, приведенной в [8]:

$$n = \frac{V_{с.з.} \cdot x_{приб.}}{A \cdot (x - x_0)}, \quad (5)$$

где $V_{с.з.}$ – объем сухих продуктов сгорания при $\alpha = 1$ в $\text{м}^3/\text{ч}$;

A – объем помещения, м^3 ;

x_0 – содержание компонента в вентилируемом воздухе при его поступлении в помещение, $\%$ (по объему). При расчете воздухообмена примем, что количество вредных веществ, поступающих с приточным воздухом, ничтожно мало и им можно пренебречь, т. е. $x_0 = 0$;

x – содержание компонента в воздухе помещения при работе газового прибора в момент времени τ , $\%$ (по объему);

$x_{приб.}$ – предельно допустимая концентрация окиси азота в воздухе помещения, $\%$ (по объему). Значение ПДК_{с.с.} принимается 0,00000268 $\%_{об.}$ согласно [9].

Расчет количества вентилируемого воздуха, необходимого для обеспечения поддержания концентрации NO_x ниже предельно допустимой концентрации в воздухе жилых помещений ПДК_{с.с.}, приведен в таблице 4.

Количество вентилируемого воздуха определяется как произведение необходимой кратности воздухообмена на объем кухни.

Из таблицы 4 видно, что использование горелки с воздухоподводящими каналами под углом 20° приводит к снижению количества необходимого вентилируемого воздуха в случае максимальной тепловой нагрузки на плиту на величину почти 42 $\%$ по сравнению со стандартной. Однако необходимый воздухообмен для обеспечения допустимых санитарно-гигиенических условий в помещениях кухни гораздо больше нормативного, что ставит вопрос о необходимости использования дополнительных систем вентиляции.

В соответствии с данными [10] установка вытяжного зонта не позволяет полностью локализовать вредные выделения от газового оборудования, которые распространяются в рабочую зону помещения за счет диффузии. Это также подтверждается данными таблицы 4.

Одним из первых шагов улучшения состояния воздушной среды в помещении кухни является установка вытяжного зонта с механическим побуждением движения воздуха и отводом в вентиляционную шахту [11]. Однако вытяжные зонты (вытяжки) можно использовать только при наличии каналов для подсоединения, то есть при проектировании новых зданий.

В существующих домах возможно использование вытяжек, чаще всего только в режиме рециркуляции, при этом в них следует предусмотреть устройство нейтрализатора, аналогично тем, что используются в двигателях внутреннего сгорания.

ВЫВОДЫ

1. Для создания санитарно-гигиенических условий в кухнях, в которых установлены газовые приборы без организованного отвода продуктов сгорания, следует:
 - применять газовые плиты с горелками с пониженным выходом вредных веществ;
 - устанавливать кухонные вытяжки, которые будут выполнять роль местной вентиляции (при новом строительстве).
2. В вытяжках с рециркуляцией следует предусматривать нейтрализатор окислов азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков, Г. А. Экология микроклимата газифицированных помещений [Текст] / Г. А. Быков, Н. М. Мхитарян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 2. – С. 42–48.
2. СП 54.13330.2011. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 [Текст]. – Введ. 2011-05-20 / АО «ЦНИИЭП жилища». – М. : Минрегион России, 2011. – 35 с.
3. ДБН В.2.2-15-2005. Державні будівельні норми. Житлові будинки. Основні положення [Текст]. – Чинні від 2006-01-01. – К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 36 с.
4. Шуркин, Е. Н. Вредные выбросы при работе горелок бытовых газовых плит [Текст] / Е. Н. Шуркин, К. Ф. Ридер, П. А. Жбанков // Реф. науч.-техн. сб. ВНИИЭгазпром. Сер. Использование газа в народном хозяйстве. – 1977. – № 12. – С. 12–19.
5. Шуркин, Е. Н. Горелка бытовой газовой плиты с пониженными вредными выбросами [Текст] / Е. Н. Шуркин, К. Ф. Ридер, П. А. Жбанков // Газовая промышленность. – 1978. – № 4. – С. 40–43.
6. Пелипенко, В. Н. Эмиссия оксидов азота и углерода газовой плитой [Текст] / В. Н. Пелипенко // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 531–535.
7. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие [Текст] / Е. Н. Львовский. – М. : Высш. школа, 1982. – 224 с.
8. Сладков, С. П. Использование природного газа в городском и сельском строительстве [Текст] / С. П. Сладков. – М. : Стройиздат, 1973. – 192 с.
9. СТО НП «АВОК» 2.1-2008 Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена [Текст]. – Введ. 2011-05-20 / [Е. О. Шилькрот, М. М. Бродач, Л. А. Гулабянц, В. И. Ливчак и др.] – М. : ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2008. – 30 с.
10. Goodfellow, Howard D. Industrial Ventilation Design Guidebook [Текст] / Howard D. Goodfellow, Esko Tahti. – San Diego, CA : Academic Press, 2001. – 1519 p.
11. Захаров, А. В. Вентиляция помещений, в которых установлены газовые плиты [Текст] / А. В. Захаров, В. И. Захаров, А. Я. Орлова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2008. – Вип. 2(70) Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 24–30.

Получено 09.10.2018

В. І. ЗАХАРОВ, Ю. О. ГОЛОВАЧ, О. І. ЗНАХАРЯНЦ СТАН ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРИМІЩЕННЯХ, В ЯКИХ ВСТАНОВЛЕНІ ГАЗОВІ ПЛИТИ, І КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПРИВЕДЕННЯ ЙОГО ДО НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано аналіз стану повітряного середовища в кухнях при роботі газових плит, що працюють на природному газі, в продуктах згоряння якого містяться оксид вуглецю і оксиди азоту, розраховані необхідна кратність повітрообміну і кількість вентилязованого повітря при використанні плит з пальниками, що випускаються серійно, і пальниками з додатковими каналами, що підводять повітря під кутом нахилу 20°.

Ключові слова: газові плити, оксид вуглецю, оксиди азоту, пальник, кратність повітрообміну.

VICTOR ZAKHAROV, YULIA GOLOVACH, OLEKSANDR ZNAKHARIANTS
CONDITION OF THE AIR ENVIRONMENT IN PREMISES IN WHICH GAS
COOKERS ARE PLACED, AND THE VENTILATION RATES, WHICH ARE
NECESSARY TO BRING IT TO REGULATORY REQUIREMENTS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It has been carried out the analysis of condition of the air environment in the kitchens during the operation of gas cookers, working on natural gas, the product of combustion of which contain carbon monoxide and nitrogen oxides, necessary ventilation rate and the volume of ventilated air using cookers with commercially available burners and burners with additional air supply ducts at an angle of 20 degrees are calculated.

Key words: gas cooker, carbon monoxide, nitrogen oxides, burner, ventilation rate.

Захаров Виктор Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

Головач Юлия Александровна – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения.

Знахарянец Александр Игоревич – магистрант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: рациональное использование природного газа.

Захаров Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

Головач Юлія Олександрівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність розподільних систем газопостачання.

Знахарянець Олександр Ігорович – магістрант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: раціональне використання природного газу.

Zakharov Victor – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: distribution of natural gas in conditions of gas deficiency, on-line control of gas supply systems, rational use of gas fuel.

Golovach Yulia – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural gas network reliability.

Znakhariants Oleksandr – Master's student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: rational use of natural gas.