



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОПЕРЕДАЧИ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ВОЗМОЖНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В СИСТЕМАХ НАВЕСНЫХ ФАСАДОВ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Д. В. Копейка<sup>1</sup>, С. В. Гридин<sup>2</sup>

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,

58, ул. Артема, г. Донецк, ДНР, 83001.

E-mail: <sup>1</sup>benj72008@rambler.ru, <sup>2</sup>gridin\_@mail.ru

Получена 14 февраля 2019; принята 22 марта 2019.

**Аннотация.** Одним из наиболее распространенных и эффективных способов утепления ограждающих конструкций является навесной фасад с вентилируемой воздушной прослойкой. Такие системы обладают многочисленными преимуществами перед другими способами утепления ограждающих конструкций. Одним из наиболее важных преимуществ вентилируемых фасадов является удаление влаги из конструкции, которое возможно благодаря наличию воздушной прослойки между теплоизоляционным слоем и наружной панелью. Однако неизвестно, действительно ли наличие воздушной прослойки предотвращает образование зоны конденсации влаги в ограждающей конструкции и всегда ли происходит полное удаление влаги из прослойки. В работе рассматриваются процессы переноса влаги в ограждающих конструкциях с навесными вентилируемыми фасадами и проблемы определения расположения плоскости возможной конденсации в таких конструкциях с использованием графоаналитического метода Фокина-Власова.

**Ключевые слова:** вентилируемый фасад, паропроницание, парциальное давления, зона конденсации.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОГОПЕРЕДАЧІ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПЛОЩИНИ МОЖЛИВОЇ КОНДЕНСАЦІЇ У СИСТЕМАХ НАВІСНИХ ФАСАДІВ З ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ

Д. В. Копійка<sup>1</sup>, С. В. Грідін<sup>2</sup>

ДОНУ ВПО «Донецький національний технічний університет»,

58, вул. Артема, м. Донецьк, ДНР, 83001.

E-mail: <sup>1</sup>benj72008@rambler.ru, <sup>2</sup>gridin\_@mail.ru

Отримана 14 лютого 2019; прийнята 22 березня 2019.

**Анотація.** Одним із найбільш поширених та ефективних методів утеплення огорожувальних конструкцій є навісний фасад з вентиляваним прошарком. Такі системи мають велику кількість переваг перед іншими методами утеплення огорожувальних конструкцій. Одною з найбільш важливих переваг вентиляваних фасадів є видалення вологи з конструкції, яке можливе завдяки наявності повітряного прошарку між теплоізоляційним шаром та зовнішньою панеллю. Однак невідомо, чи дійсно наявність повітряного прошарку запобігає утворенню зони конденсації у конструкції та чи завжди відбувається повне видалення вологи з прошарку. У роботі розглядаються процеси переносу вологи в огорожувальних конструкціях з навісними вентиляваними фасадами та проблема визначення розташування площини можливої конденсації в таких конструкціях з використанням графоаналітичного методу Фокіна-Власова.

**Ключові слова:** вентиляований фасад, паропроникнення, парціальний тиск, зона конденсації.

## DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF MOISTURE TRANSFER AND THE LOCATION OF THE PLANE OF POSSIBLE CONDENSATION IN THE SYSTEMS OF SUSPENDED FACADES WITH A VENTILATED AIR LAYER

Denis Kopeyka <sup>1</sup>, Sergey Gridin <sup>2</sup>

Donetsk National Technical University,  
58, Artema Str., Donetsk, DPR, 83001.

E-mail: <sup>1</sup> benj72008@rambler.ru, <sup>2</sup> gridin\_@mail.ru

Received 14 February 2019; accepted 22 March 2018.

**Abstract.** Ventilated facade is one of the most popular and effective heat-insulating technology. Such systems has large amount of advantages with respect to other methods of heat insulation of building envelope. One of the most important advantages is the ability of moisture removal from the envelope, which is possible because of the presence of air gap between insulation layer and external panel. But there is no proof, that the air gap prevents the appearance of condensation zone in the construction and that the whole moisture withdraw the air gap. This research examines the problems of fluid transfer in building envelopes with ventilated facade and determination of disposition of condensation zone in these constructions with using of Fokin-Vlasov's graphic-analytical method.

**Keywords:** ventilated facade, vapor permeability, partial pressure, condensation zone.

### Актуальность

Наличие воздушной прослойки в системах навесных фасадов играет важную роль во влажностном режиме всей ограждающей конструкции. Благодаря прослойке возможна ассимиляция влаги, проходящей через конструкцию. Однако в конструкции возможна конденсация влаги. Как правило, при наличии в конструкции теплоизоляционного слоя плоскость возможной конденсации влаги совпадает с его наружной поверхностью. Т. к. в системах навесных вентилируемых фасадов в качестве теплоизоляционного материала используется минеральная вата, то вопрос о влагонакоплении в конструкции играет особую роль. Это связано с тем, что при увлажнении минеральная вата теряет свои теплоизоляционные свойства, а это, в свою очередь, будет негативно влиять на энергетическую эффективность всей системы.

### Анализ последних исследований и публикаций

В работах [3, 4, 8] рассматривается расчет теплотехнических параметров ограждающих конструкций с навесным вентилируемым фасадом, определение теплозащитных характеристик таких систем. Проведена классификация различных систем навесных вентилируемых фасадов.

В работе [9] представлены экспериментальные исследования теплотехнических характеристик систем навесных вентилируемых фасадов.

Обоснование применения фасадных систем для утепления ограждающих конструкций зданий представлены в [10].

В работах [2, 7] собраны и проанализированы свойства и характеристики различных теплоизоляционных материалов и технологий, которые используются при утеплении ограждающих конструкций зданий.

В работах [11, 12] представлены зарубежные исследования процессов тепло- и влагопередачи в конструкциях с воздушными прослойками.

### Цель

Разработать методику, позволяющую определить параметры влагопередачи в ограждающих конструкциях с навесными вентилируемыми фасадами.

### Основной материал

Согласно методическим рекомендациям по проектированию навесных вентилируемых фасадов, плоскость возможной конденсации влаги в ограждающих конструкциях с вентилируемой прослойкой располагается либо на внешней границе теплоизоляционного слоя, либо на внутренней поверхности декоративного слоя, т. е. в самой воздушной прослойке. Однако при этом не учитывается материал существующей ограждающей конструкции. Например, трехслойные железобетонные панели имеют свой внутренний теплоизоляционный слой и конденсация влаги возможна внутри самой ограждающей конструкции на границах теплоизоляционного слоя. После же монтажа дополнительного утеплителя плоскость возможной конденсации может либо сместиться, либо расширяться. Исследовать влажностный режим в ограждающей конструкции и поведение плоскость возможной конденсации влаги возможно с помощью графоаналитического метода Фокина-Власова [1]. Суть этого метода состоит в графическом определении зон возможной конденсации влаги для периода влагонакопления и периода испарения влаги с дальнейшим графическим сопоставлением, после чего можно судить о влажностном режиме конструкции.

Первым шагом является определение параметров внутреннего и наружного воздуха  $t_{ext}, e_{ext}, e_{int}, E_{int}$  и  $\phi_{int}$  для каждого периода года. Следующим этапом является построение графика распределения температур по слоям ограждающей конструкции (теплоизоляционный слой при этом необходимо разбить на четыре участка). Температура по слоям конструкции  $t_c$  определяется по формуле [1, 6]:

$$t_c = t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot \frac{R_c}{R_0}, \quad (1)$$

где  $R_c$  – сопротивление теплопередаче конструкции до рассматриваемого слоя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

$R_0$  – сопротивление теплопередаче всей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

После этого согласно полученным температурам определяется давление насыщенного водяного пара по слоям конструкции согласно выражениям [5]:

– для  $t < 0$ :

$$E = \exp \frac{18,7 \cdot t_c - 115,72}{233,77 + 0,881 \cdot t_c}, \quad (2)$$

– для  $t \geq 0$ :

$$E = \exp \frac{16,57 \cdot t_c - 115,72}{233,77 + 0,997 \cdot t_c}. \quad (3)$$

После этого строится график, на котором согласно выбранным сечениям откладываются значения  $E$  и строится график парциальных давлений внутреннего и наружного воздуха  $e_{ext} - e_{int}$ . Если графики пересекаются, то в конструкции происходит конденсация влаги. Построения проводятся для всех периодов года. Для определения плоскости возможной конденсации из концов прямой  $e_{ext} - e_{int}$  проводится касательная к графику  $E$ . Область между точками касания – зона конденсации. При совпадении точек касания – плоскость конденсации.

Особенностью расчета параметров влагопередачи в системах навесных вентилируемых фасадов является определение  $e_{ext}$  – парциального давления водяного пара наружного воздуха. В отличие от конструкций без навесного вентилируемого фасада, для которых  $e_{ext}$  определяется по климатическим данным для региона строительства [1], в конструкциях с навесным вентилируемым фасадом для расчета параметров влагопередачи необходимо использовать значения парциального давления водяного пара в прослойке.

Выражение для определения парциального давления водяного пара в произвольном сечении воздушной прослойки определяется выражением [5]:

$$\frac{e_x - e_{в.п.}}{e_0 - e_{в.п.}} = e^{-Ax}, \quad (4)$$

где  $e_0$  – парциальное давление водяного пара на входе в прослойку, Па;

$e_{в.п.}$  – предельное парциальное давление водяного пара в прослойке, Па, которое определяется по формуле [5]:

$$e_{e.n.} = \frac{\frac{e_{int}}{R_{vp}^{cm}} + \frac{e_{ext}}{R_{vp}^{дек}}}{1/R_{vp}^{cm} + 1/R_{vp}^{дек}} \quad (5)$$

Параметр  $A$  представляет собой выражение [5]:

$$A = \frac{1}{R_{vp}^{cm}} + \frac{1}{R_{vp}^{дек}} \cdot \zeta \cdot j \quad (6)$$

где  $j$  – расход воздуха в воздушной прослойке, кг/ч, определяемый по формуле:

$$j = V_{np} \cdot 3600 \cdot \delta_{np} \cdot \rho_{np} \quad (7)$$

где  $\rho_{np}$  – плотность воздуха в прослойке, кг/м<sup>3</sup>. Далее с помощью интегрирования выражения (4) по  $dx$  получим выражение для определения среднего значения парциального давления водяного пара по длине прослойки:

$$e_{cp} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L (e_{e.n.} - (e_{e.n.} - e_0) \cdot e^{-Ax}) dx \quad (8)$$

После интегрирования и математического преобразования получаем выражение для определения среднего значения парциального давления водяного пара в воздушной прослойке:

$$e_{cp} = e_{e.n.} - (e_{e.n.} - e_0) \cdot \left(\frac{L}{A}\right) \cdot (1 - e^{-AL}) \quad (9)$$

Условие отсутствия конденсации влаги в воздушной прослойке навесного фасада выглядит следующим образом:

$$e_L < Et_{e.n.}, \quad (10)$$

где  $e_L$  – парциальное давление водяного пара в конце прослойки, Па;

$Et_{e.n.}$  – парциальное давления воздуха при предельной температуре в прослойке, Па.

Таким образом, при построении графиков паропроницания в конструкции с навесным вентилируемым фасадом вместо  $e_{ext}$  необходимо использовать  $e_{cp}$ .

Определение зоны конденсации проводилось для панельного здания типовой серии 1–464. Ограждающая конструкция представляет собой трехслойную железобетонную панель с внутренним теплоизоляционным слоем из минеральной ваты. Навесной вентилируемый фасад имеет минераловатный теплоизоляционный слой толщиной 15 см и воздушную прослойку толщиной 6 см.

Параметры воздуха в прослойке представлены в таблице 1.

На рисунках 1–2 отображено распределение влаги по слоям ограждающей конструкции с навесным вентилируемым фасадом.

На рисунках видно, что графики парциальных давлений пересекаются в теплоизоляционном слое конструкции, что говорит о возможности конденсации влаги внутри самой конструкции, а не в воздушной прослойке. Анализ

**Таблица 1.** Параметры воздуха в прослойке

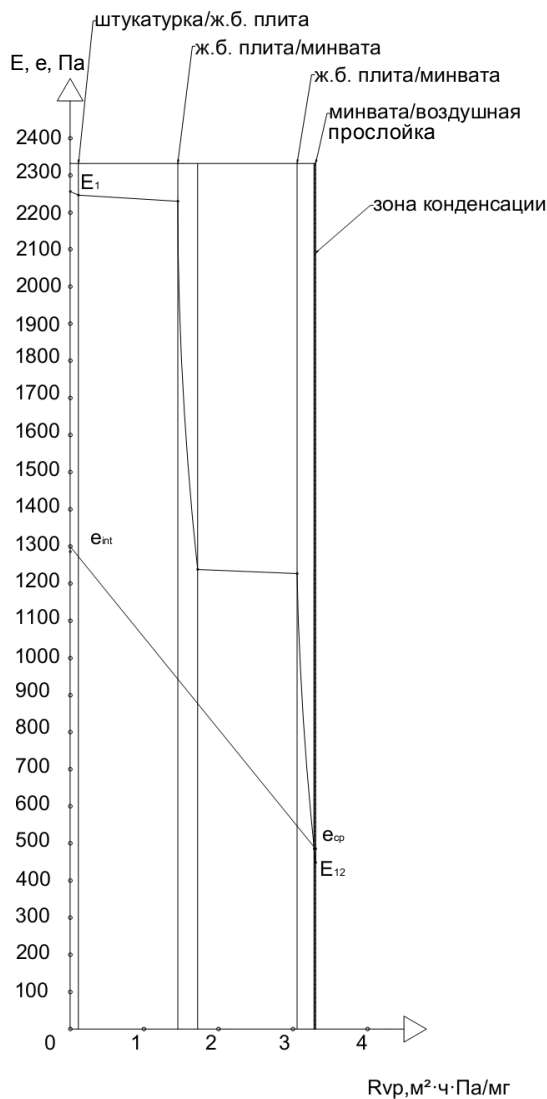
Параметр	Ед. изм.	Значение		
		зима	лето	весна-осень
Средняя температура воздуха в прослойке, $t_{cp}$	°С	–5,4	15,8	–1,0
Скорость движения воздуха в прослойке, $V_{np}$	м/с	0,39	0,164	0,356
Расход воздуха в прослойке, $j$	кг/с	0,0309	0,0121	0,0277
Предельное парциальное давление водяного пара в прослойке, $e_{e.n.}$	Па	534,4	1 229	699,5
Среднее парциальное давление водяного пара в прослойке, $e_{cp}$	Па	486,19	1 223	668,86
Парциальное давление водяного пара в конце прослойки, $e_L$	Па	534,4	1 229	699,5
Предельное парциальное давление воздуха в прослойке, $E_{e.n.}$	Па	390	1 795,8	561,5

данных таблицы 1 показывает, что полной ассимиляции влаги в воздушной прослойке не происходит, т. к. условие (10) не выполняется.

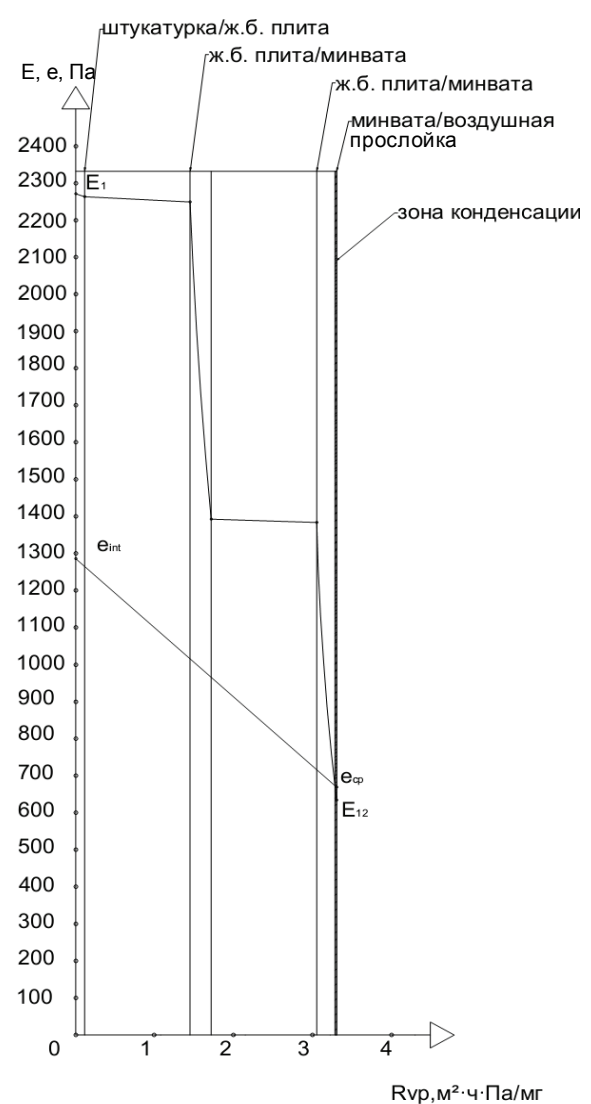
### Выводы

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что конденсация влаги в ограждающих конструкциях здания типовой серии 1–464 возможна в самом теплоизоляционном слое вблизи наружной поверхности. Также согласно дан-

ным таблицы 1 можно сделать вывод, что условие (10) не соблюдается для рассматриваемой конструкции в период влагонакопления. Другими словами, накопление влаги в рассматриваемой конструкции возможно, как и в теплоизоляционном слое, так и в воздушной прослойке фасада. Накопление влаги в теплоизоляционном слое способствует ухудшению его теплоизоляционных характеристик, т. к. в качестве теплоизоляционного материала используется минеральная вата.



**Рисунок 1.** Распределение влаги по слоям конструкции (зима).



**Рисунок 2.** Распределение влаги по слоям конструкции (осень-весна).

## Литература

1. Гридин, С. В. Тепловая защита зданий : методические указания для самостоятельной работы студентов к курсовой работе [Текст] // С. В. Гридин. – Донецк : ДонНТУ. 2013. – 38 с.
2. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник для средних профессионально-технических учебных заведений [Текст] / Ю. Л. Бобров, Е. Г. Овчаренко, Б. М. Шойхет [и др]. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
3. Овсянников, С. Н. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями [Текст] / С. Н. Овсянников, Т. О. Вязова // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 24–28.
4. Протасевич, А. М. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики [Текст] / А. М. Протасевич, А. Б. Крутилин // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8(26). С. 57–62.
5. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] : уч. для вузов / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1982. – 415 с.
6. Хоменко, В. П. Справочник по теплозащите зданий [Текст] / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – К. : Будівельник, 1986. – 216 с.
7. Воробьев В. А. Полимерные теплоизоляционные материалы [Текст] / В. А. Воробьев, Р. А. Адрианов. – М. : Стройиздат, 1972. – 320 с.
8. Гагарин, В. Г. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов [Текст] / В. Г. Гагарин // АВОК. 2005. № 2. С. 52–58.
9. Васильченко, Г. М. Натурные исследования теплофизических характеристик наружных стен с вентилируемыми фасадными системами [Текст] / Г. М. Васильченко // Современное промышленное и гражданское строительство. 2013. Том 9, № 4. С. 203–211.
10. Белоус, А. Н. Технико-экономическое обоснование системы фасадного утепления зданий серии ИИ-04 [Текст] / А. Н. Белоус, Б. А. Новиков, О. Е. Белоус // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Том 13, № 4. С. 179–187.
11. Alin V. Rosca. Flow and heat transfer over a vertical permeable stretching/shrinking sheet with a second order slip Original Research Article [Текст] / Alin V. Rosca, Ioan Pop // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 60(1). P. 355–364.
12. Dagnall, M. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed facade system [Текст] / M. Dagnall, A. Window, A. Leung, D. Thompson // Proceedings of Building Simulation : 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (14–16 November, 2011, Sydney). 2011. P. 808–815.

## Reference

1. Gridin, S. V. Thermal Protection of Buildings : Guidelines for the Independent Work of Students for Course work [Text] // S. V. Gridin. – Donetsk : DonNTU. 2013. – 38 p. (in Russian)
2. Thermal insulation materials and structures: textbook for secondary vocational schools [Text] / Y. L. Bobrov, E. G. Ovcharenko, B. M. Shoikhet [and others]. – M. : INFRA-M, 2003. – 268 p. (in Russian)
3. Ovsianikov, S. N. Thermal protection parameters of exterior wall's constructions with heat conduction inclusion [Text] / S. N. Ovsianikov, T. O. Viasova // In: *Construction materials*. 2013. № 6. P. 24–28. (in Russian)
4. Protasievich, A. M. Classification of ventilated facade systems. Influence of heat conduction inclusions on thermal protection parameters [Text] / A. M. Protasievich, A. B. Krutinin // In: *Construction engineering journal*. 2011. № 8(26). P. 57–62. (in Russian)
5. Bogoslovsky, V. N. Thermal physics in buildings (thermal physics fundamentals of heating, ventilation and air-conditioning) : manual for university. – the 2nd edition, edited and sup [Text] / V. N. Bogoslovsky. – M. : High school., 1982. – 415 p. (in Russian)
6. Homenko, V. P. Manual for thermal protection of buildings [Text] / V. P. Homenko, G. G. Farenuk. – K. : Budivelnik, 1986. – 216 p. (in Russian)
7. Vorobiev, V. A. Polymer heat insulating materials [Text] / V. A. Vorobiev, R. A. Adrianov. – M. : Stroyizdat, 1972. – 320 p. (in Russian)
8. Gagarin, V. G. About some heat engineering mistakes in ventilated facade's designing [Text] / V. G. Gagarin // In: *AVOK*. 2004. № 2. P. 52–58. (in Russian)
9. Vasilchenko, G. M. Field investigation of the thermo and physical characteristics of the exterior walls with ventilated facade systems [Text] / G. M. Vasilchenko // In: *Modern industrial and civil construction*. 2013. Vol. 9, № 4. P. 203–211. (in Russian)
10. Belous, A. N. Technical and economic basis of facade's systems of building insulation of II-04 series [Text] / A. N. Belous, B. A. Novikov, O. E. Belous // In: *Modern industrial and civil construction*. 2017. Vol. 13, № 4. P. 179–187. (in Russian)
11. Alin V. Rosca. Flow and heat transfer over a vertical permeable stretching/shrinking sheet with a second order slip Original Research Article [Text] / Alin V. Rosca, Ioan Pop // In: *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. Vol. 60(1). P. 355–364.
12. Dagnall, M. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed facade system [Text] / M. Dagnall, A. Window, A. Leung, D. Thompson // Proceedings of Building Simulation : the 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (14–16 November, 2011, Sydney). 2011. P. 808–815.

**Копейка Денис Вадимович** – аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: эффективность использования теплоизоляционных материалов, энергосбережение в сфере утепления ограждающих конструкций зданий.

**Гридин Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: теплоэнергетика, энергосбережение, энергетический менеджмент.

**Копійка Денис Вадимович** – аспірант кафедри промислової теплоенергетики ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: ефективність використання теплоізоляційних матеріалів, енергозбереження у сфері утеплення огорожувальних конструкцій будівель.

**Грідін Сергій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри промислової теплоенергетики ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: теплоенергетика, енергосбереження, енергетичний менеджмент.

**Koreyka Denis** – postgraduate student, Industrial Heat Engineering Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: efficiency of using of heat insulation materials, energy saving in area of building envelope's heat insulation.

**Gridin Sergey** – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Industrial Heat Engineering Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: heat engineering, energy saving, energy management.